



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Evaluering af ny processeringsmetode til LAWR

Nielsen, Jesper Ellerbæk; Thorndahl, Søren Liedtke; Rasmussen, Michael R.

Publication date:
2012

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Nielsen, J. E., Thorndahl, S. L., & Rasmussen, M. R. (2012). *Evaluering af ny processeringsmetode til LAWR*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 149

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

EVALUERING AF NY PROCESSERINGSMETODE TIL LAWR

Jesper Ellerbæk Nielsen

Søren Thorndahl

Michael R. Rasmussen



Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for Vand og Jord



DCE Technical Report No. 149

Evaluering af ny processeringsmetode til LAWR

Jesper Ellerbæk Nielsen, Jen@civil.aau.dk

Søren Thorndahl, St@civil.aau.dk

Michael R. Rasmussen, Mr@civil.aau.dk

August 2012

© Aalborg Universitet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgiver 2012 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sohngårdsholmsvej 57
DK-9000 Aalborg, Danmark
Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 149

INDHOLD

INTRODUKTION	2
VEJRRADAR TESTOMRÅDET I VIRRING	3
DATAPERIODER OG DISDROMETER DATA	7
KALIBRERINGSPERIODE 1	7
KALIBRERINGSPERIODE 2	9
VALIDERINGSPERIODEN	11
SAMMENHÆNG MELLEM RADARREFLEKTIVITET OG NEDBØRENS INTENSITET	12
LAWR KALIBRERING	13
KALIBRERING AF LAWR-DATA PROCESSERET EFTER ORIGINALE METODE	13
KALIBRERING AF LAWR-DATA PROCESSERET EFTER DEN NYE METODE	15
PROCESSERINGSMETODEN EFFEKT PÅ LAWR-RADARENS PRÆSTATIONSEVNE	18
HÆNDELSESDYBDER	18
INTENSITETSFORLØB	20
SAMMENLIGNING MED DMI'S C-BÅNDSRADAR	29
HÆNDELSESDYBDER	30
INTENSITETSFORLØB	32
VALIDERING	35
HÆNDELSESDYBDER	35
INTENSITETSFORLØB	36
KONKLUSION	39
REFERENCER	41

INTRODUKTION

LAWR-radaren har i flere sammenhænge demonstreret problemer med at måle nedbøren tilfredsstillende. Radaren har udvist problemer med at beskrive intensitetsforløbets dynamik således, at radaren generelt har tendens til enten at underestimere de høje intensiteter eller overestimere de lave intensiteter. Rollenbeck og Bendix (2006), Pedersen et al. (2009), Pedersen et al. (2010), DHI (2011), DHI (2011a) og Thorndahl og Rasmussen (2012) illustrere alle eksempler på forskellige LAWR-radarer som har det til fælles, at de udviser problemer med at estimere regnintensiteter større end ca. 6 mm/hr. Herudover konkluderede Nielsen og Rasmussen (2011) specifikt for Vejle LAWR, at denne radar i dens daværende konfiguration ikke opfyldte forventningerne til en vejrradar, som skal kunne anvendes til styring og regulering af afløbssystem og renseanlæg.

Efter disse analyser har DHI gennemført en videreudvikling af LAWR-radarens software. Radarens hardware er blevet gennemmålt og dataprocesseringen er blevet fornyet. Til forskel fra den originale processering har outputtet fra den nye processeringsmetode fået en fysisk størrelse. Den nye processeringsmetode estimerer nedbørens radarreflektivitet i dBz, som derved understøtter anvendelse af den almen kendte Marshall-Palmer relation mellem radarreflektivitet og nedbørens intensitet. Resultatet er at den nye processeringsmetode bygger på en ikke-lineær relation, i modsætning til den gamle lineære antagelse.

Nærværende analyse har baggrund i Nielsen og Rasmussen (2011), og har til formål at belyse hvorvidt DHI's udvikling af LAWR-radaren har medført forbedringer i radarens evne til at måle nedbøren.

Analysen tager udgangspunkt i et testområdet ved Virring nær Århus. Her er det muligt at udføre simultane sammenligninger mellem den originale og nye LAWR processeringsmetode samt nedbørsestimater fra DMI's C-båndsradar ved Virring.

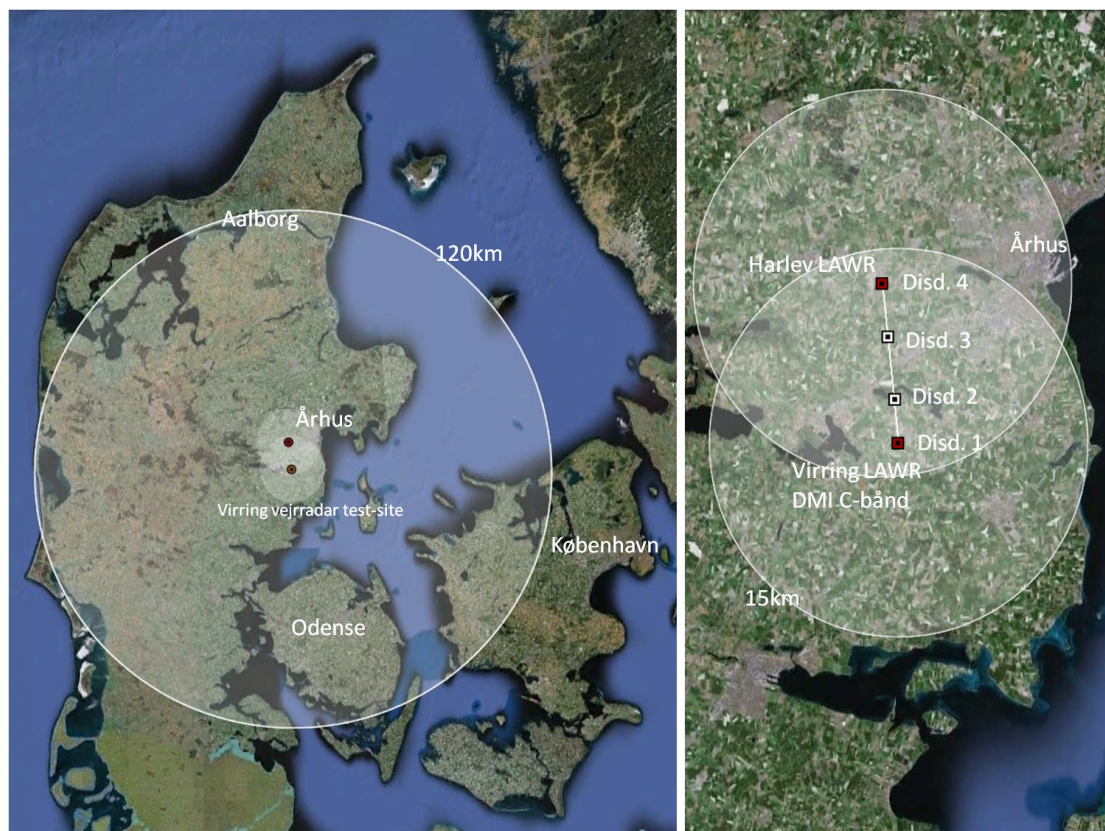
Analysen består af tre komponenter:

Først er nedbørsestimater fra den originale LAWR processeringsmetode sammenlignet med estimater fra den nye metode for to kalibreringsperioder. Den første periode kørte radaren med en tidlig opløsning på 5 minutter, mens den i den anden periode kørte med 1 minut. Ligeledes er dataopløsning af LAWR-radarens output også forøget mellem de to kalibreringsperioder.

Dernæst er nedbørsestimaterne fra den nye LAWR processering under de to kalibreringsperioder sammenlignet med estimater fra DMI's C-båndsradar i Virring.

Slutteligt er kalibreringsresultatet fra den sidste periode valideret ved at fastholde parametrene for såvel LAWR som for DMI's C-båndsradar gennem den efterfølgende valideringsperiode.

VEJRRADAR TESTOMRÅDET I VIRRING



Figur 1: Oversigt over vejrradar testområdet ved Virring

Data anvendt i analysen stammer fra vejrradartestområdet ved Virring nær Århus. Forsøgsområdet er udviklet og opstillet i et samarbejde mellem, DMI, DHI, Århus Vand og Aalborg Universitet. Testområdet er ikke udviklet specifikt med denne analyse for øje, men betragtes som noget nær optimal til formålet. Atmosfæren i området overvåges af to LAWR-radarer og én af DMI's C-båndsradar. Den ene LAWR-radar er placeret på Harlev Renseanlæg, mens den anden er opstillet sammen med C-båndsradaren nærvæd Virring. På linjen mellem de tre radar er installeret fire disdrometer-regnmålere, der opdeler afstanden på 12,65 km mellem radarerne forholdsvis ligeligt. Oversigtskort for forsøgsområdet er vist på figur 1. Ligeledes er den radiale afstand mellem disdrometerne og radarerne ved Virring angivet i tabel 1.

	Radial afstand (km)
Disd. 1	0
Disd. 2	3,45
Disd. 3	8,41
Disd. 4	12,65

Tabel 1: Radial afstand mellem Virring C-bånd og Virring LAWR

Da analysen tager udgangspunkt i LAWR-radaren i Virring er det kun data fra disdrometer 2, 3 og 4 der er anvendt, da disdrometer 1 er opstillet ved radaren og derved ikke kan anvendes.

De opstillede disdrometre er af typen OTT Parsivel fra OTT messtechnik (OTT Messtechnik, 2009). Instrumentet er et laser-baseret optisk disdrometer som simultant måler nedbørens partikel størrelse og faldhastighed. Med baggrund i de målte partikelstørrelser og faldhastigheder estimeres en række vejrrelaterede integrerede output såsom sigtbarhed, regnintensitet, radarreflektivitet i dBz og klassifikation af nedbørstypen. Den tidslige opløsning kan varieres fra 10 sek til 60 min integration. Disdrometrene i forsøgsområdet er indstillet til at måle med en tidsligopløsning på 1 min. Disdrometerens specifikationer er angivet i tabel 2.

Disdrometerens Specifikationer	
Model	OTT Parsivel
Bølgelængde	650 nm
Effekt	3 mW
Målings areal	54 cm ² (18 x 3 cm)
Partikel størrelse (flydende)	0,2 ... 5 mm
Partikel størrelse (fast)	0,2 ... 25 mm
Partikel hastighed	0,2 ... 20 m/s
Regn intensitet	0,001 ... 1200 mm/h

Tabel 2: Tekniske specifikationer for de anvendte disdrometre (OTT Messtechnik, 2009)

LAWR-radaren anvendt i analysen er Virring LAWR, da denne radar, i samarbejde med DHI, er blevet udstyret med en ekstra processeringsenhed til formålet. Ved at dele radar-signalet til to processeringsenheder, kan signalet fra radaren behandles simultant efter to uafhængige metoder. Det der sammenlignes, er således udelukkende effekten af processeringen, da det er den samme nedbør og den samme radar der måles på og med.

Som det ses ad såvel rapportens forside og figur 2, er Virring LAWR placeret på toppen af kontrol huset til DMI's C-båndsradar. Denne placering er valgt for at få så ens sammenligningsgrundlag som muligt mellem DMI's C-båndsradar og LAWR-radaren.

DMI's C-båndsradar opererer normalt med en 10 minutters opløsning, men til denne analyse er det valgt også at anvende de mellemliggende doppler scanninger, hvorved der opnås en tidslig opløsning på 5 minutter. Normalt betragtes reflektivitetsestimatet fra doppler-scanningerne som værende af en ringere kvalitet

end refleksivitetsscanningerne, men studier foretaget af Aalborg Universitet viser at dette i praksis ikke er tilfældet for C-båndsradaren ved Virring. Dopplerscanningerne fra C-båndsradaren har kun den halve rækkevidde af refleksivitetsscanningerne, dog anvendes der i analysen kun radar data fra de nærmeste ca. 13 km, som er ligeligt dækket af begge scannings typer.

LAWR og DMI's C-båndsradar fungerer i princippet på samme måde, da begge radarer er puls-radarer. Dog er der betydelige forskelle i radarernes opbygning og konfiguration, som kan give forskelle i en 1:1 sammenligning.



Figur 2: Venstre: OTT Parsivel. Midt: Virring LAWR. Højre: DMI C-bånd.

LAWR-radaren anvender en antenne med stor vertikal åbning og scanner derved atmosfæren på én gang. C-båndsradaren anvender en antenne med en smal vertikal åbning og scanner i stedet atmosfæren i flere elevationer. LAWR-radaren udnytter X-båndsradiobølger, som giver radaren en højere stedlig opløsning, men samtidig en kortere rækkevidde end DMI's C-båndsradar. Herudover integrerer LAWR-radaren over tid, hvorved målingen repræsenter enten en tidlig sum, middel eller median værdi. I modsætning repræsenterer C-båndsradarens måling en øjebliksværdi. Specifikationer for de to radar typer er listet i tabel 3

	Virring LAWR	DMI C-bånd
Bølge bånd	X-bånd	C-bånd
Frekvens	9,41 GHz	5,625 GHz
Bølgelængde	3,2 cm	5,4 cm
Peak pulse effekt	25 kW	250 kW
Tidslig opløsning	5 min /1 min	5 min (incl. dopplerscans)
Horisontal strålebredde	0,95° Azimuth	1° Azimuth
Vertikal strålebredde	20°	1°
Scanningselevation	0°	0,5°, 0,7°, 1°, 1,5°, 2,4°, 4,5°, 8,5°, 13°, 15°, 89°
Vinkelopløsning	1° Azimuth	1° Azimuth
Radialopløsning	120 m	500 m
Rotation	24 omdr./min	3,33 omdr./min

Tabel 3: Tekniske specifikationer for Virring LAWR og DMI C-bånd (DHI, 2010) (Gill et al., 2006)

Den væsentligste forskel mellem LAWR- og C-bånds-radaren (eller andre vejrradartyper generelt), er at outputtet fra LAWR-radaren i den ovennævnte tidligere undersøgelser, har været uden fysisk størrelse, hvorimod outputtet fra vejrradarer almindeligvis er atmosfærens radarreflektivitetsindeks. Outputtet fra LAWR-radaren er traditionelt blevet betegnet DRO (Dimensionsløst Radar Output), hvorfra nedbørens regnintensitet estimeres gennem en lineær transformation. Dette står i kontrast til den generelle fremgangsmåde inden for vejrradartechnologien, hvor outputtet (atmosfærens radarreflektivitetsindeks) transformeres gennem en ikke lineær z-R relation med fx Marshall-Palmers standard parametre (Marshall and Palmer, 1948)

Som beskrevet i introduktionen, er det præcis denne problematik, den nye processeringsmetode adresserer. LAWR-radaren i Virring er af DHI blevet gennemmålt, ved at sende kendte signaler ind i radarens receiver, for herigennem at etablere et kendt output fra LAWR-radaren. Dvs. at LAWR outputtet fra den nye processeringsmetode burde være dBz og derved sammenligneligt med C-båndsradarens output. De to processeringsenheder på Virring LAWR-radaren er således opsat sådan at den ene enhed processerer radar signalet efter den originale metode, mens den anden enhed processerer radar signaler efter den nye metode.

Sammenligningerne der er gennemført i denne rapport er således foretaget først mellem den originale og nye LAWR-metode, og dernæst en sammenligning mellem den nye LAWR-metode og DMI's C-båndsradar. På denne måde afdækkes, hvorledes den nye LAWR-metode præsterer i forhold til den originale metode, og hvordan LAWR præsterer i forhold til DMI's C-båndsradar.

DATAPERIODER OG DISDROMETER DATA

I analysen er anvendt data fra tre perioder; to kalibreringsperioder og en valideringsperiode. Grunden til at der ikke blot er én kalibreringsperiode og én valideringsperiode skyldes, at LAWR-radar har fået skiftet konfiguration undervejs. I den første periode opererede radaren med en tidslig opløsning på 5 minutter. Denne opløsning blev forøget til 1 minut i kalibreringsperiode 2, hvor data opløsningen også blev forøget betydeligt. I valideringsperioden har LAWR-radaren kørt med eksakt samme konfiguration som i kalibreringsperiode 2.

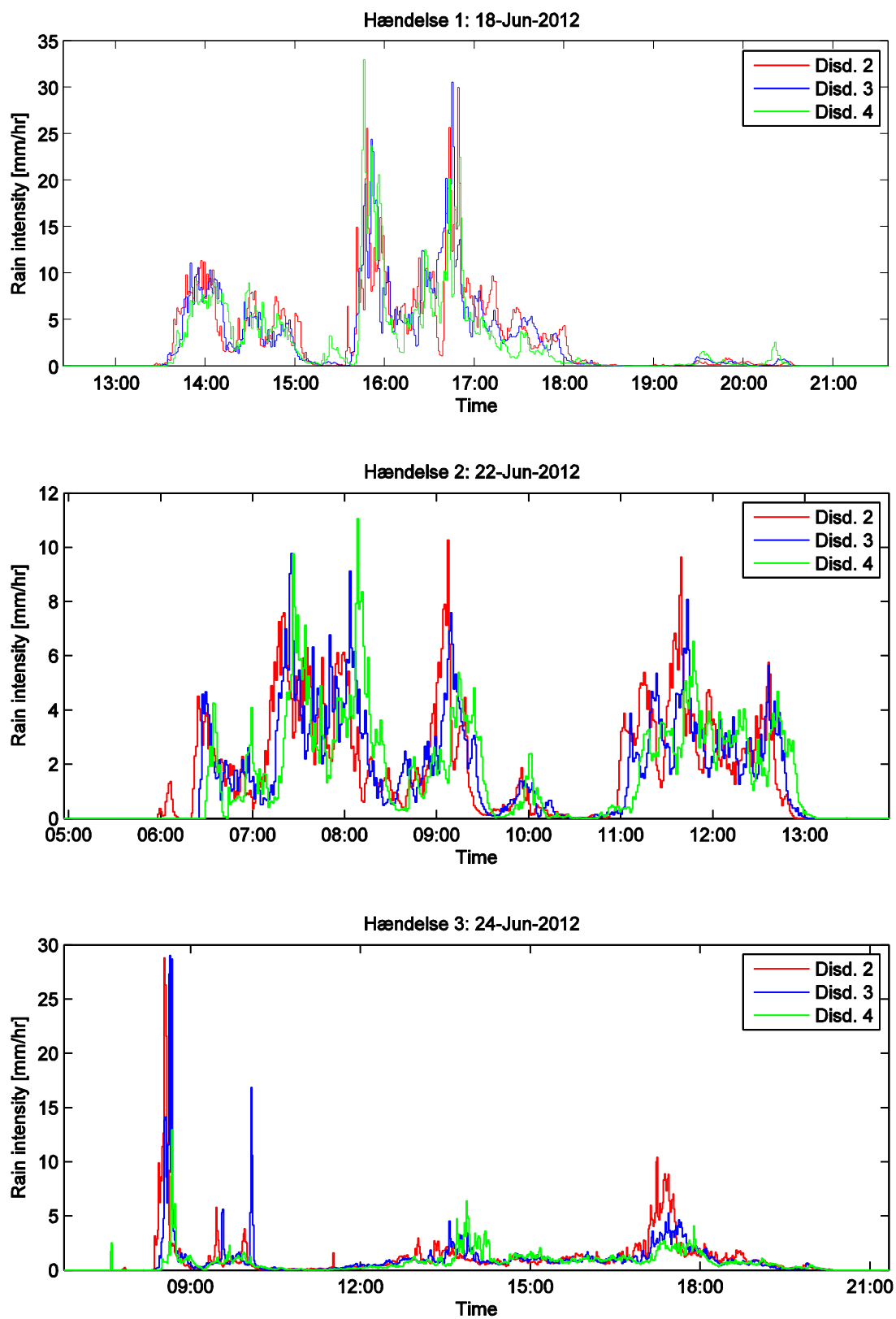
Kalibreringsperiode 1

Den første kalibreringsperiode er relativ kort og er på blot en uge fra d. 18. til 24. juni 2012. Normalt vil den være irrelevant at undersøge så kort en periode, men i denne uge faldt tre forholdsvis store regnhændelser alle mellem 10 og 26 mm. Ydermere komplimenterer regnhændelserne hinanden ret godt, da der er perioder med høje intensiteter, perioder med lave intensiteter, korte perioder med høje intensiteter (peaks/spikes) og perioder med observerede niveau-forskelle disdrometerene i mellem. Dog må det for disse tre regn hændelser konstateres at disdrometer observationerne er forholdsvis ens hvad angår hvornår det har regnet og hvor kraftigt det har regnet.

De tre regnhændelser er opsummeret for de tre disdrometre i tabel 4 og intensitetsforløbene er vist på figur 3.

Hændelses nr.	Dato	Disd. 2	Disd. 3	Disd. 4
1	18. juni 2012	25,9 mm	24,3 mm	22,5 mm
2	22. juni 2012	15,4 mm	14,6 mm	14,0 mm
3	24 juni 2012	15,4 mm	14,0 mm	10,6 mm

Tabel 4: Hændelses dybder målt med disdrometerne i løbet af kalibreringsperiode 1.



Figur 3: Intensitetsforløb for regnhændelserne i kalibrerings periode 1

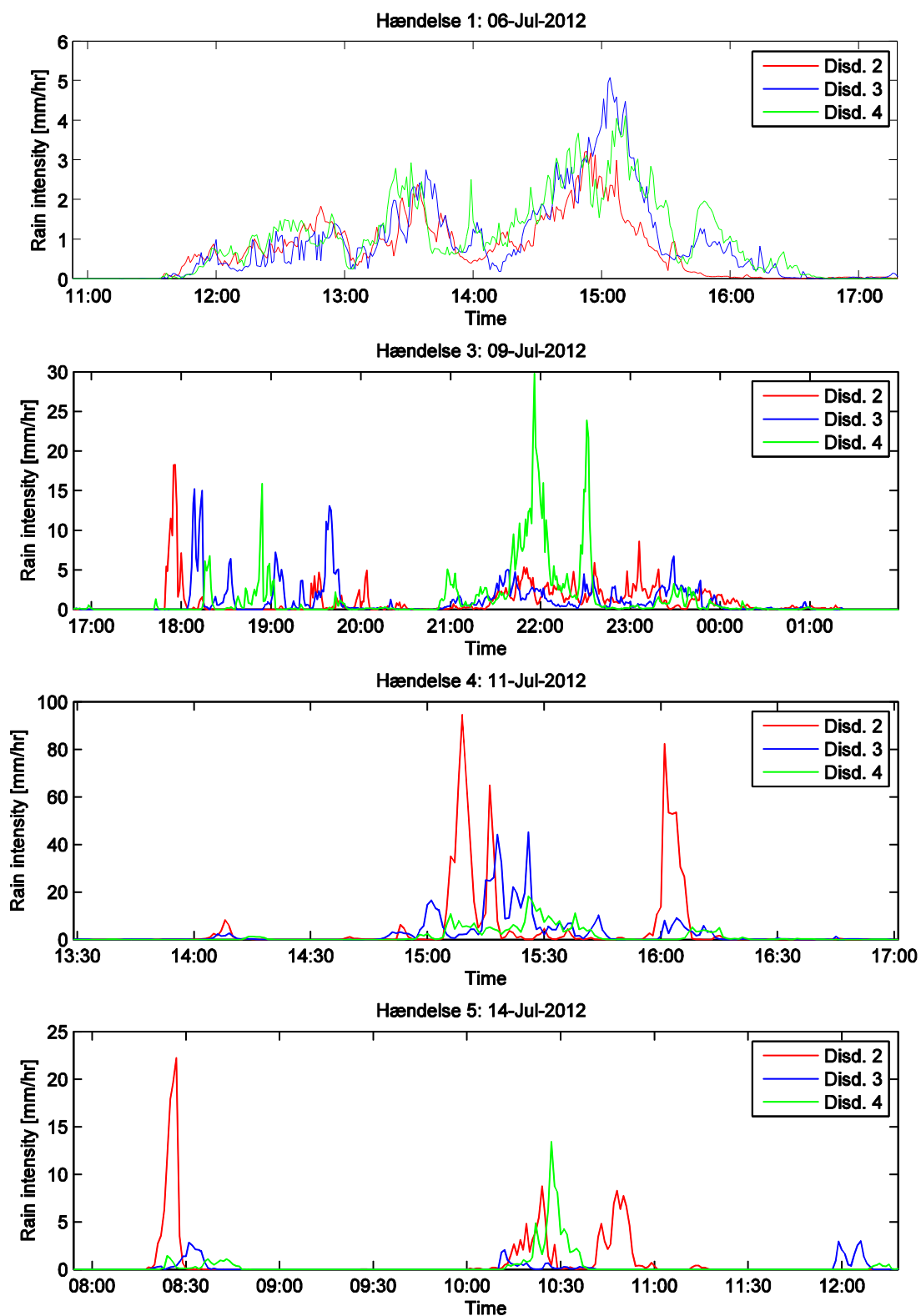
Kalibreringsperiode 2

Kalibreringsperiode 2 strækker sig fra den 4. til den 29. juli 2012. Der er i perioden registreret mellem 4 og 7 hændelser over 3 mm i de tre disdrometre. Regnhændelserne er opsummeret i tabel 5. Ydermere er intensitetsforløbene for hændelse 1, 3, 4 og 5 vist på figur 4. Disse regnhændelser er udvalgt, da hændelse 2 blev observeret mindre end 3 mm af disdrometer 2 og 4, samt at hændelse 6 og 7 ikke blev registreret af disdrometer 2 pga. data udfald. Hændelser mindre end 3 mm er dog ikke inkluderet i kalibreringen.

Hændelses nr.	Dato	Disd. 2	Disd. 3	Disd. 4
1	06-Jul-2012	4,5 mm	5,7 mm	6,4 mm
2	08-Jul-2012	<3 mm	3,4 mm	<3 mm
3	09-Jul-2012	8,6 mm	9,7 mm	13,0 mm
4	11-Jul-2012	15,7 mm	10,1 mm	6,8 mm
5	14-Jul-2012	3,4 mm	8,0 mm	7,8 mm
6	16-Jul-2012	Udfald	5,5 mm	3,4 mm
7	18-Jul-2012	Udfald	3,3 mm	6,1 mm

Tabel 5: Hændelses dybder målt med disdrometrene i løbet af kalibreringsperiode 2.

I de illustrerede regnhændelser er der som det ses af figur 4 en forholdsvis stor diversitet. Hændelse 1 indeholder kun relativt lave regnintensiteter. Hændelserne 3 og 5 indeholder både lave og (forholdsvist) høje intensiteter. Desuden indeholder hændelse 4 intensiteter på op mod 100 mm/hr, hvilket betegnes som kraftig regn. Hændelse 4 er specielt interessant, da der er stor forskel disdrometrene i mellem, hvilket tyder på en stor stedslig variation i denne regnhændelse.



Figur 4: Intensitetsforløb for regnhændelserne 1, 3, 4 og 5 i kalibrerings periode 2

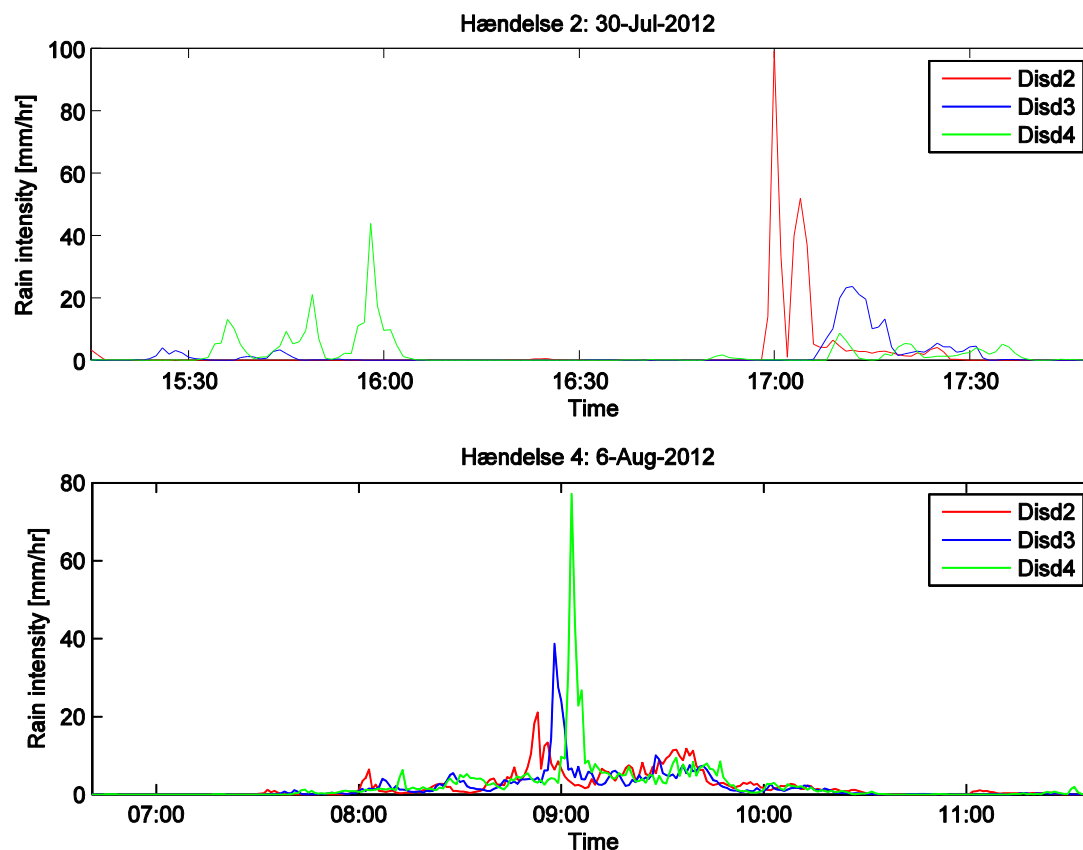
Valideringsperioden

Som umiddelbar forlængelse af kalibreringsperiode 2 ligger valideringsperioden fra d. 30. juli til d. 6. august 2012. Som det fremgår af tabel 6 er der observeret mellem 2 og 4 regnhændelser større end 3 mm i valideringsperioden.

Hændelses nr.	Dato	Disd. 2	Disd. 3	Disd. 4
1	30-Jul-2012	3,8 mm	<3 mm	3,8 mm
2	30-Jul-2012	5,7 mm	4,0 mm	5,2 mm
3	31-Jul-2012	<3 mm	<3 mm	4,5 mm
4	6-Aug-2012	9,9 mm	9,31 mm	11,81 mm

Tabel 6: Hændelses dybder målt med disdrometrene i løbet af kalibreringsperiode 2.

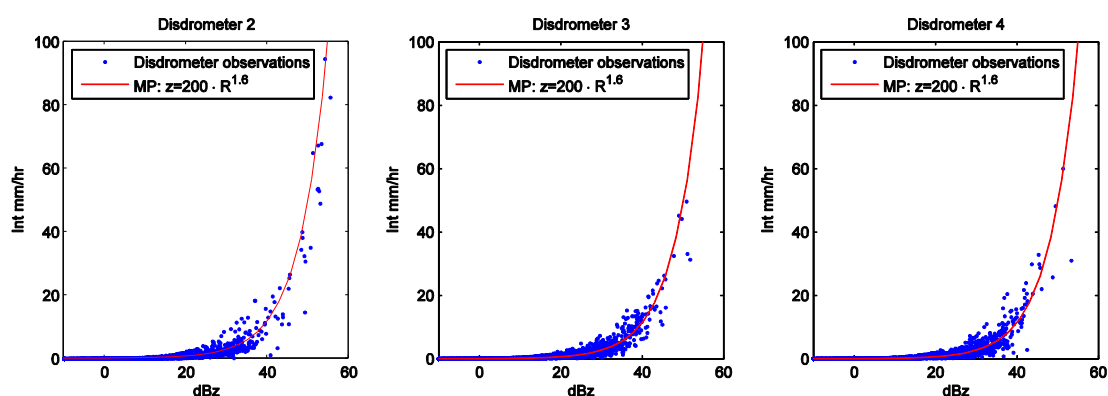
Hændelse 2 og 4, som er observeret større end 3 mm i alle disdrometre er vist på figur 5. Som det kan ses indeholder begge hændelser forholdsvis kraftigt regn, og store forskelle disdrometrene imellem.



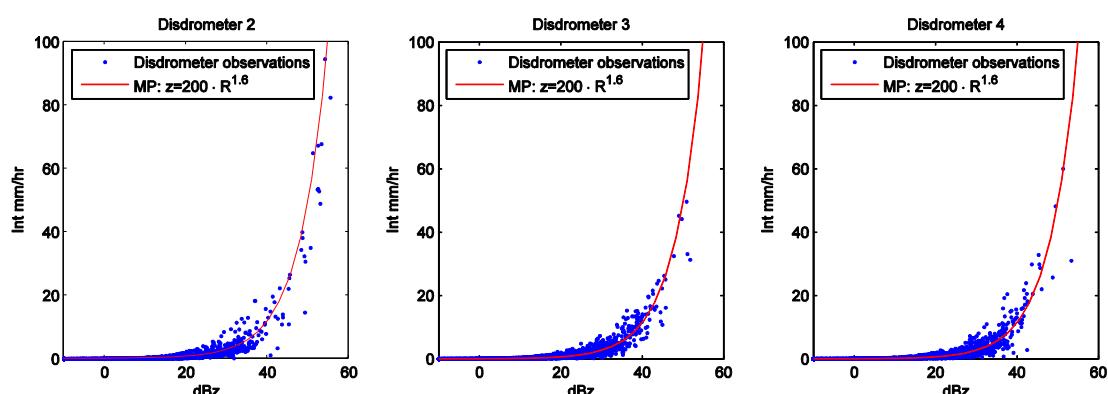
Figur 5: Intensitetsforløb for regnhændelserne 2 og 4 i valideringsperioden

Sammenhæng mellem radarreflektivitet og nedbørens intensitet

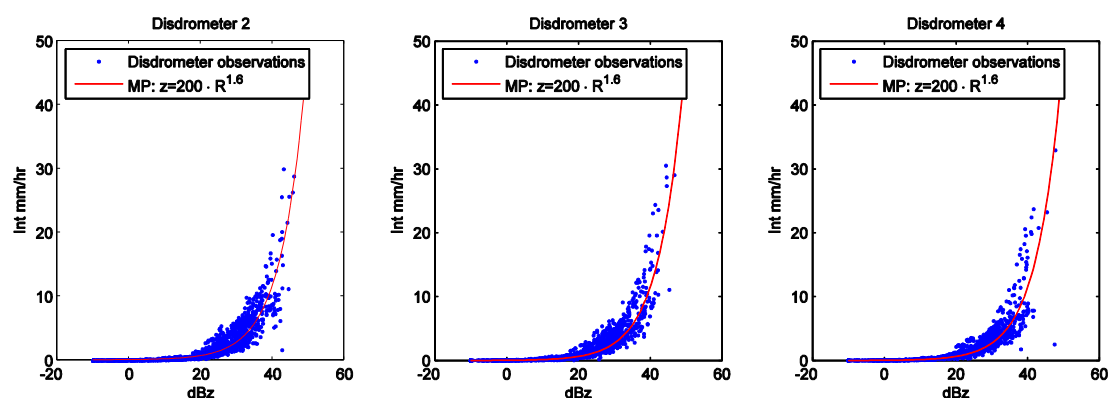
Forskelle i meteorologiske forhold regnhændelserne imellem, kan påvirke den relative dråbestørrelsesfordeling af nedbøren og derved give grundlag for forskellige z-R relationer. Derfor er den empiriske z-R relationen baseret på disdrometer observationerne sammenlignet med Marshall-palmers standardværdier for parametererne ($A = 200$ $b = 1,6$). Resultatet heraf kan ses af figur 8, figur 7 og figur 6 for de tre data perioder.



Figur 6: Nedbøren intensitet som funktion af radar reflektiviteten for valideringsperioden



Figur 7: Nedbøren intensitet som funktion af radar reflektiviteten for kalibreringsperiode 2



Figur 8: Nedbøren intensitet som funktion af radar reflektiviteten for kalibreringsperiode 1

Som det ses af figurerne, eksisterer der en hvis spredning omkring standard relationen for alle tre dataperioder. Det vurderes dog ikke nødvendigt at anvende

forskellige relationer i analyses, da det ikke umiddelbart tyder på at nedbøren indeholder divergerende z-R relationer.

LAWR KALIBRERING

Forskellene mellem den originale og nye processeringsmetode betyder, at det er nødvendigt at kalibre datasættene på forskellig vis. For data processeret med den originale metode er data kalibreret efter den lineære regressionsmetode som beskrevet af Thorndahl og Rasmussen (2012). For data processeret med den nye metode er en ny kalibreringsmetode udviklet, da en sådan ikke eksisterer endnu.

Kalibrering af LAWR-data processeret efter originale metode

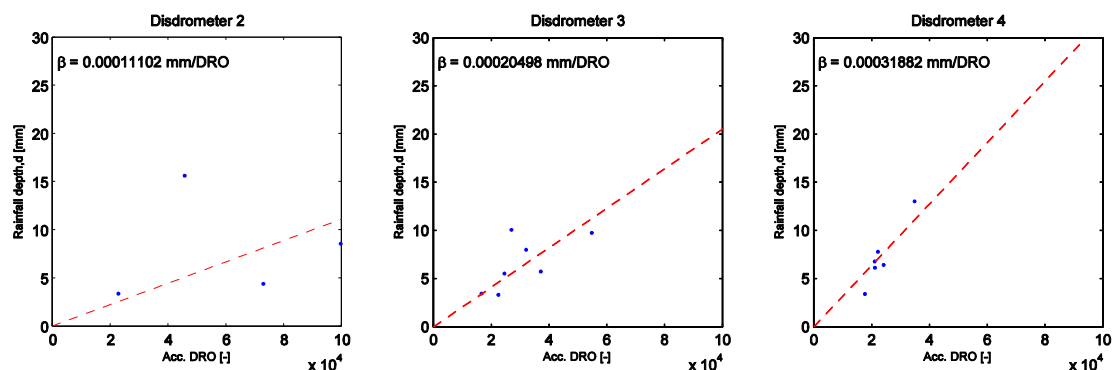
Den original dataprocessering opererer med den lineær sammenhæng mellem radarens output DRO (Dimensionsløst Radar Output) og regnens intensitet. Denne linearitet er afhængig af den radiale afstand fra radaren, som beskrives med en eksponentiel sammenhæng.

$$(1) \quad i = DRO \cdot \beta_{(r)}$$

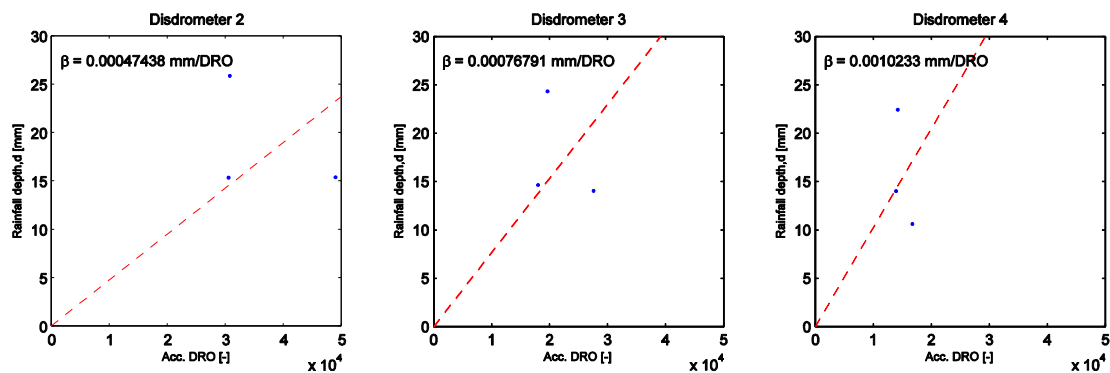
$$(2) \quad \beta_{(r)} = C_1 \cdot \exp^{(r \cdot C_2)}$$

β bestemmes for hvert disdrometer gennem lineær regression mellem hændelsesakkumuleret radar DRO og hændelsesregndybder. Herefter etableres den eksponentielle sammenhæng i ligning 2 vha. kurve-fit mellem den radiale afstand og de bestemte β -værdier.

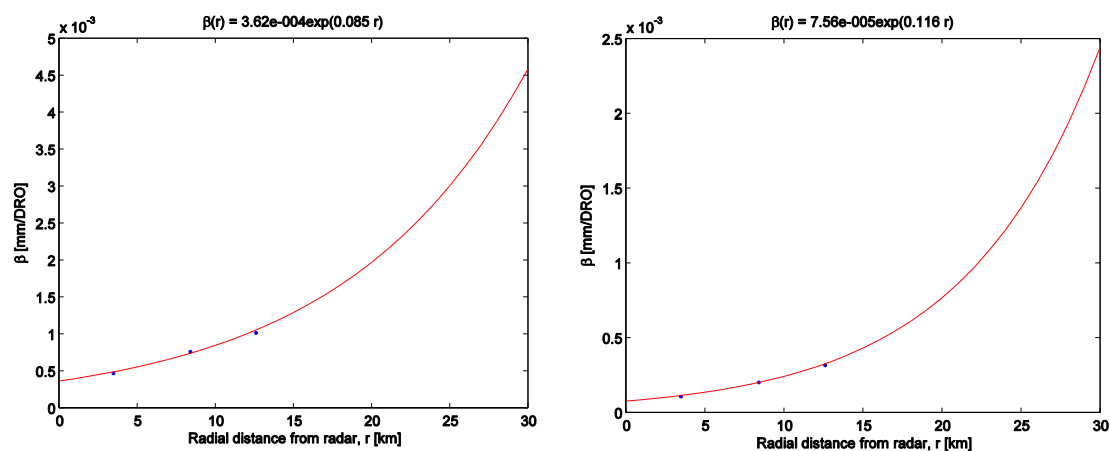
Regressionerne for de to kalibreringsperioder er vist på figur 10 og figur 9. Ligeledes er exponential-funktionerne og dermed kalibreringsresultaterne for de to kalibreringsperioder vist på figur 11 og listet i tabel 7.



Figur 9: Lineær regression af hændelses akkumuleret DRO og hændelsesregndybder for kalibrerings periode 2



Figur 10: Lineær regression mellem hændelses akkumuleret DRO og hændelsesregndybder for kalibrerings periode 1



Figur 11: Kurve-fit af eksponentialfunktionerne der beskriver linearitetens afstandsafhængighed. Venstre: Kalibreringsperiode 1. Højre: Kalibreringsperiode 2.

Parameter	Kalibreringsperiode 1	Kalibreringsperiode 2
C_1	$3,62 \cdot 10^{-4} \text{ mm/DRO}$	$7,65 \cdot 10^{-5} \text{ mm/DRO}$
C_2	$0,085 \text{ km}^{-1}$	$0,116 \text{ km}^{-1}$

Tabel 7: Parameter estimater for den originale processeringsmetode i de to kalibreringsperioder

De estimerede værdier for parametrene C_1 of C_2 er ikke direkte sammenlignelige med tidligere erfaringer. Traditionelt anvendes de kartesiske data produkter fra LAWR-radaren som ligger på en 8-bit heltals format, mens der her anvendt de polære data som ligger på en 10-bit heltals format. Dette er valgt dels fordi de anvendte disdometre er placeret langs den samme scanlinje og dels for at eliminere effekterne som transformationen til kartesiske koordinater kan give.

Hvorvidt, de to kalibreringsperioder er fuldt sammenlignelige, er også tvivlsomt, da det er ukendt hvor meget LAWR-radarens konfiguration er ændret mellem de to perioder. Det er dog sandsynligt, at ændringen i den tidslige opløsning, som der er blevet foretaget, kan resultere i ændringerne perioderne imellem. Et af de centrale problemer med den originale processeringsmetode er dog at modelparametrene kan varierer betydeligt fra én periode til den næste.

Kalibrering af LAWR-data processeret efter den nye metode

Formatet for data outputtet fra den nye processeringsmetode er blevet ændret mellem de to kalibreringsperioder. Under den første kalibreringsperiode burde data outputtet i princippet være atmosfærens radarreflektivitetsindeks i dBz uafhængig af afstanden fra radaren således, at 1 output count = 1 dBz. Da output formatet for denne periode er i 10-bit, betyder dette at dataene har en principiel opløsning på 1 dBz og at måle intervallet er fra 0 til 1023 dBz.

10-bit format er ændret til 16-bit signed i den anden kalibreringsperiode. Ydermere er dBz estimeret skaleret med en faktor 100, for at udnytte det bredere format. Dette betyder at formatet i princippet kan indeholde intervallet -327 dBz til 327 dBz med en opløsning på 0,01 dBz. Sammenlignet med det forrige output format, må det konstateres, at opløsningen er forøget betydelig. Hvorvidt opløsningen modsvarer den reelle målenøjagtighed på radaren er dog tvivlsomt.

Da outputtet fra den nye processeringsmetode i princippet er dBz (som dog i periode 2 skal skaleres med en faktor 100) burde det ikke være nødvendigt at kalibrere dataene. I stedet anvendes en standard z-R relation til at omsætte radarrefleksivitetsindekset Z til nedbørens intensitet R:

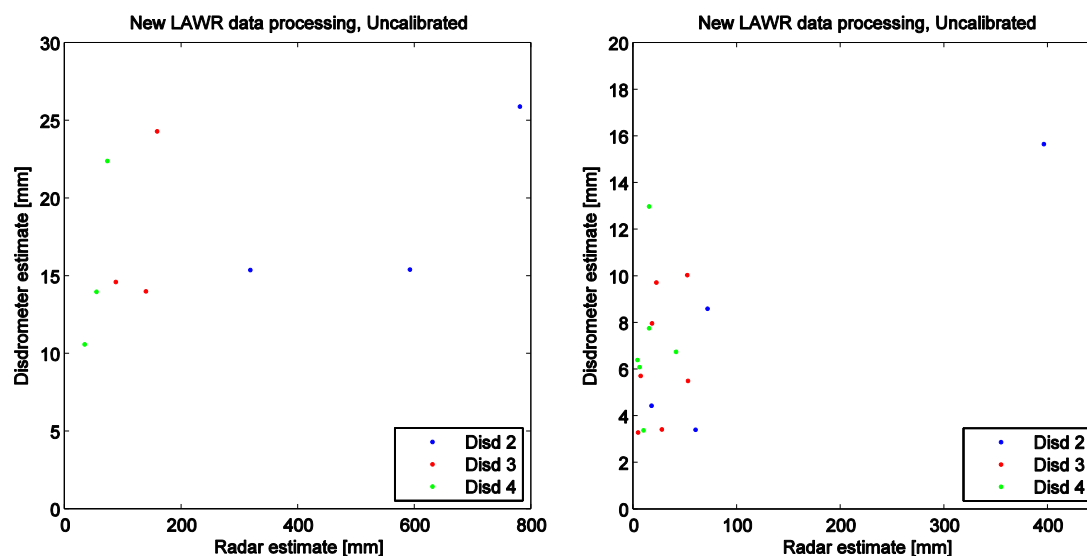
$$(4) \quad z = A \cdot R^b \Rightarrow R = \left(\frac{z}{A} \right)^{(1/b)}$$

z er her det lineære radar refleksivitets indeks (mm^6/m^3). Dette beregnes fra den logaritmiske Z (dBz) skala som:

$$(5) \quad Z = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{z}{1 \text{ mm}^6/\text{m}^3} \right) \Rightarrow z = 10^{\frac{Z}{10}} \cdot 1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$$

Hvor z er i mm^6/m^3 og Z er i decibel (dBz) og er dermed uden enhed.

Anvendes dataene fra den nye processeringsmetode uden korrektioner, sammen med Marshall-Palmers standard relation ($A = 200$ $b = 1,6$) kan det af figur 12 ses, at radarens måling langt fra stemmer overens med hvad disdrometerene observerer. Generelt er det tendensen at radaren overestimerer nedbøren betydeligt. Det kan ydermere af figur 12 ses, at der er en tydelig afstandsafhængighed. Tæt ved radaren (disdrometer 2) overestimerer radaren kraftigt mens det aftager med afstanden fra radaren. Dette gør dig gældende for begge kalibreringsperioder, men er dog og mest udpræget for den første periode.



Figur 12: Kurve-fit af eksponentialfunktionerne der beskriver linearitetens afstandsafhængighed. Venstre: Kalibreringsperiode 1. Højre: Kalibreringsperiode 2.

Det har således været nødvendigt at efterkalibrere dataene fra den nye proceseringsmetode. Det er valgt at tilføje afstands/volumen korrektion ved hjælp af radar ligning for nedbør (Battan, 1959, 1973; Probert-Jones, 1962). Ydermere er det valgt af reskalere LAWR outputtet med en skaleringsfaktor, α (slope) og niveaufaktor, β_0 (offset).

$$(6) \quad \text{For kalibreringsperiode 1: } Z = \alpha \cdot count_{value} + \beta_0 + 20 \cdot \log_{10}(r)$$

$$(7) \quad \text{For kalibreringsperiode 2: } Z = \alpha \cdot \frac{count_{value}}{100} + \beta_0 + 20 \cdot \log_{10}(r)$$

Hvor Z er radarreflektivitetsindekset i dBz og r er den radiale afstand i km.

Skaleringsparametrene α og β_0 er bestemt vha. en simpel optimeringsrutine, som minimerer summen af den kvadrerede fejl (SSE sum of squared error) mellem radar- og disdrometerestimat. Estimerne som er blevet optimeret på er hændelsernes regndybde for alle hændelser simultant. De mest optimale parametersæt, som blev fundet for de to kalibreringsperioder kan ses af tabel 8.

Parameter	Kalibreringsperiode 1	Kalibreringsperiode 2
α	0,80 LAWR _{dbz} /dBz	0,64 LAWR _{dbz} /dBz
β_0	-22,34 dBz	-10,30 dBz

Tabel 8: Parameter estimater for den nye processeringsmetode i de to kalibreringsperioder

Med de estimerede værdier for α og β_0 betyder det at dataopløsningen og intervallet fra radaren reelt er anderledes.

For den første kalibreringsperiode, er opløsningen således reelt 0,8 dBz mens intervallet er afhængig af afstanden. I en afstand af 3km er det teoretiske data interval således [-12,79 dBz ; 806,4 dBz] mens det teoretiske interval i radaren

maksimale rækkevidde på 60km er 13,23 dBz til 832,43 dBz. Maksimumværdierne må konstateres at være unødvendigt høje. Bundniveauet i 60 km er forholdsvis højt da 13,23 dBz svarer til en regnintensitet på 0,245 mm/hr. Ved en middelværdi eller median filtrering af radar signalet, kan dette høje bund niveau resultere i en overestimering ved lave regn intensiteter, da den nederste del af radar signaler evt. vil mangle. Dog er dette nok mest et teoretisk problem, da den maksimale kvantitative rækkevidde af LAWR-radaren sandsynligvis ligger omkring de 15 til 25km hvor bund niveauet ikke er højere end 6 dBz.

For den anden kalibreringsperiode, er den faktiske opløsning 0,0064 dBz. Intervallet afhænger også her af afstanden. I en afstand af 3km er det teoretiske data interval således -210 dBz til 208,4 dBz mens det teoretiske interval i radaren maksimale rækkevidde på 60km er -184 dBz til 234,6 dBz. Her må det konstateres, at formatet uden problemer kan indeholde alle relevante estimer. Dog, vil der med stor sandsynlighed være begrænsninger i LAWR-radarens hardware, som gør at det faktiske interval og opløsning af dataene er mindre.

PROCESSERINGSMETODEN EFFEKT PÅ LAWR-RADARENS PRÆSTATIONSEVNE

Datagrundlaget for denne analyse er relativt beskedent, hvorfor det ikke har været muligt at lave egentlige statistiske analyser af radarens evne til at måle nedbøren. Det der grundlæggende er sammenlignet er processeringsmetodernes indflydelse på LAWR-radarens evne til at estimere regnhændelsernes dybde samt regnens intensitetsforløb.

Hændelsesdybder

Tabel 9 og tabel 10 indeholder radar estimeret såvel som disdrometer observeret hændelsesregndybder for de to kalibreringsperioder, hvor figur 13 illustrerer resultat som scatter-plots.

Hændelses nr.	Disd. 2 (mm)	Org (mm)	Ny (mm)	Disd. 3 (mm)	Org (mm)	Ny (mm)	Disd. 4 (mm)	Org (mm)	Ny (mm)
1	25,9	14,8	25,0	24,3	14,4	21,5	22,5	14,9	19,0
2	15,4	14,7	13,1	14,6	13,2	13,7	14,0	14,6	15,6
3	15,4	23,7	19,0	14,0	20,2	18,7	10,6	17,6	11,9
SSE (mm²)		192,6	19,1		138,4	30,7		107,1	16,5

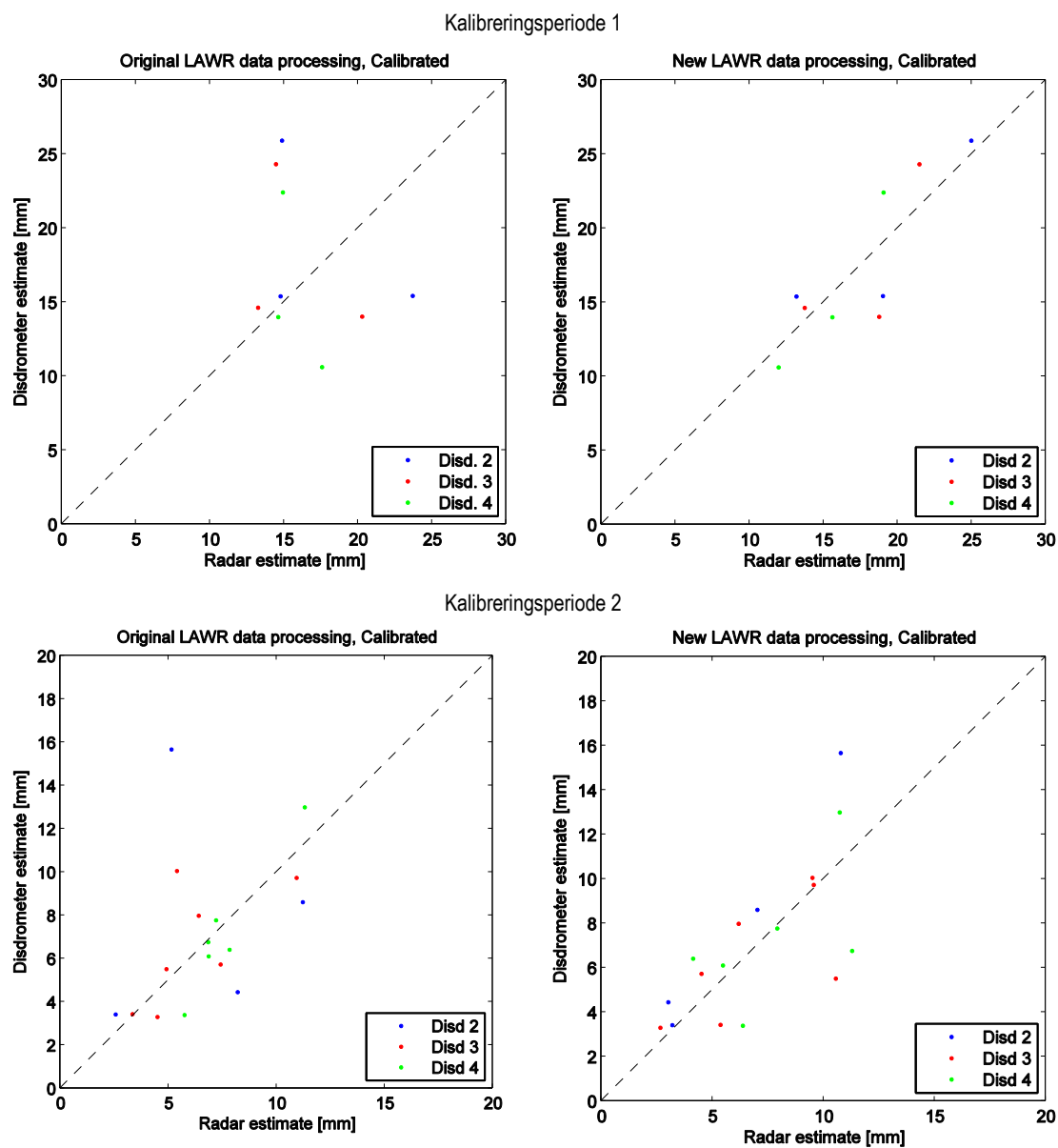
Tabel 9: Radar estimeret disdrometer observeret regndybder for kalibreringsperiode 1

Hændelses nr.	Disd 2 (mm)	Org (mm)	Ny (mm)	Disd 3 (mm)	Org (mm)	Ny (mm)	Disd 4 (mm)	Org (mm)	Ny (mm)
1	4,5	8,2	3,0	5,7	2,4	4,5	6,4	7,8	4,11
2	-	-	-	3,4	3,3	5,3	-	-	-
3	8,6	11,2	7,0	9,7	11,0	9,5	13,0	11,3	10,7
4	15,7	5,1	10,8	10,1	5,4	9,5	6,8	6,8	11,3
5	3,4	2,5	3,2	8,0	6,4	6,2	7,8	7,2	7,9
6	Udfald	-	-	5,5	4,9	10,5	3,4	5,7	6,4
7	Udfald	-	-	3,3	4,5	2,6	6,1	6,8	5,5
SSE (mm²)		183,7	28,9		39,0	34,2		10,99	40,15

Tabel 10: Radar estimeret disdrometer observeret regndybder for kalibreringsperiode 2

For kalibreringsperiode 1 er det tydeligt at den nye processeringsmetode præsterer betydeligt bedre end den originale metode. Den originale metode præsterer meget varieret. Hændelse 1 bliver underestimeret, hændelse 2 estimeres udmærket mens hændelse 3 overestimeres. For disdrometer 4 bliver de tre hændelser estimeret til næsten samme regndybde, mens disdrometeret måler en forskel på op mod 12 mm mellem den største og mindste regnhændelse. Mere ens og nøjagtigt præsterer den nye processeringsmetode med efterkalibrering. Spredningen omkring vinkelhalveringslinjen er betydeligt mindre og der er en umiddelbar mere realistisk variation i radar estimererne for disdrometer 4.

Resultatet af kalibreringsperiode 2 er knap så entydig. Begge metoder estimerer nedbøren med en vis mængde scatter, som umiddelbart er af samme størrelsesorden. Dog estimerer den nye metode tættere på observationerne for 2 ud af de 3 disdrometre evalueret på SSE.



Figur 13: Scatter-plots over hændelsesregndybder i kalibreringsperioderne. Øverst: Kalibreringsperiode 1. Nederest: Kalibreringsperiode 2. Venstre: Originale processeringsmetode. Højre: Nye processeringsmetode

Intensitetsforløb

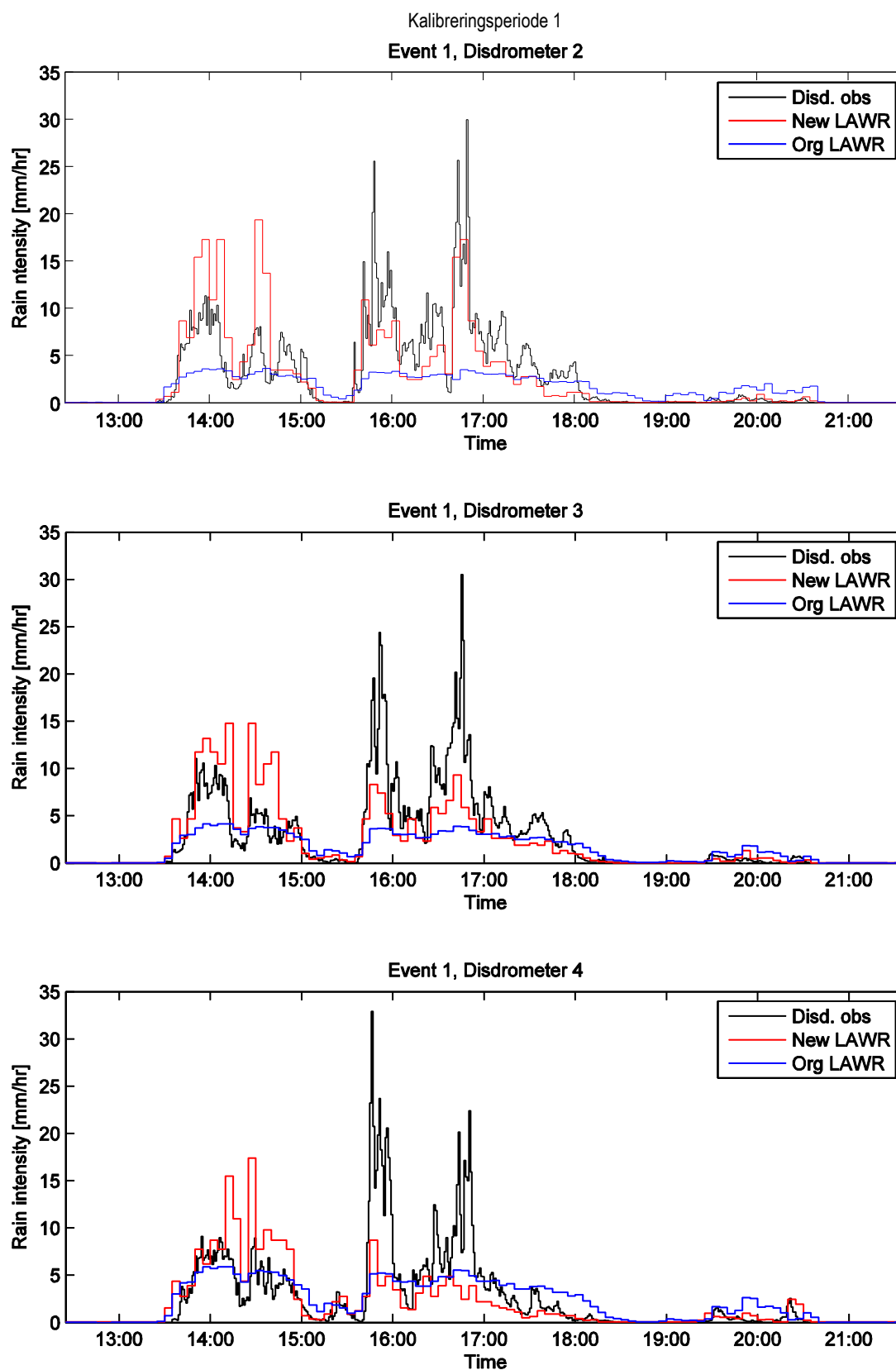
Intensitetsforløb over regnhændelserne i den første kalibreringsperiode er vist på figur 14 til figur 16. Ligeledes er fire hændelser fra den anden kalibreringsperiode vist på figur 17 til figur 20. Hændelsesnummereringen korresponderer til nummereringen i tabel 9 og tabel 10.

I modsætning til hændelsesregndybden, er det generelle indtryk ens når intensitetsforløbene sammenlignes. Den originale processeringsmetode resulterer i estimer, som ikke beskriver den tidslige variation, men den nye metode præsterer betydelig mere præcise intensitetsestimer.

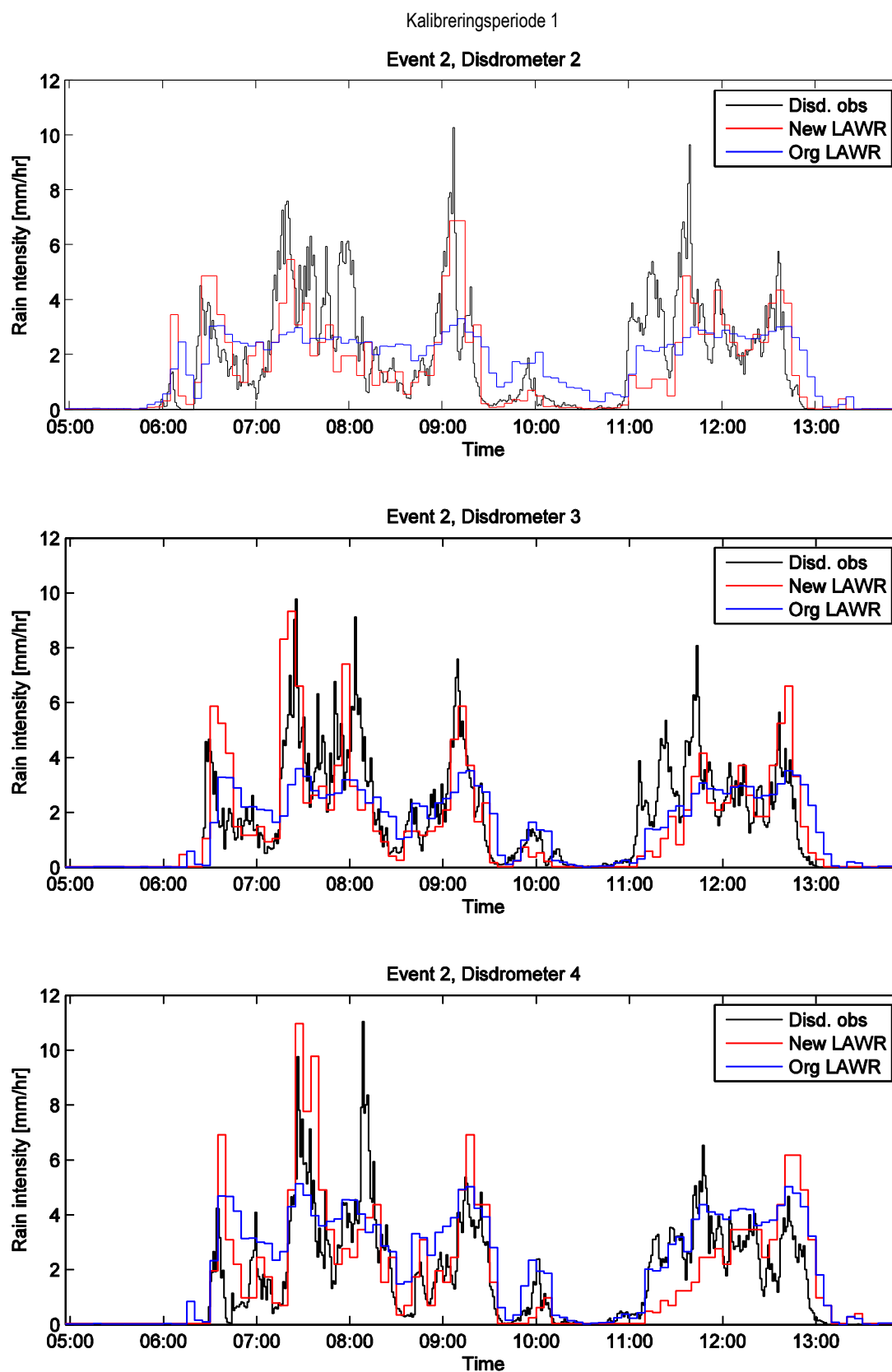
Figur 14, hændelse 1, første periode: Generelt må det konstateres, at den originale processeringsmetode underestimerer samtlige intensiteter over ca. 4 mm/hr. Den nye processeringsmetode præsterer bedre, dog med tendens til overestimering af den første del af hændelsen og underestimering af den sidste del.

Figur 15, hændelse 2, første periode: Den originale processeringsmetode estimerer variationerne utilfredsstillende, de lave intensiteter overestimeres, mens de høje underestimeres. Tendensen til overestimering er dog ikke så udpræget for disdrometer 3. Generelt præsterer den nye processeringsmetode betydelig bedre og fanger de fleste af variationerne dog 'overses' toppene omkring kl. 8.00 og 11.00 til 12.00

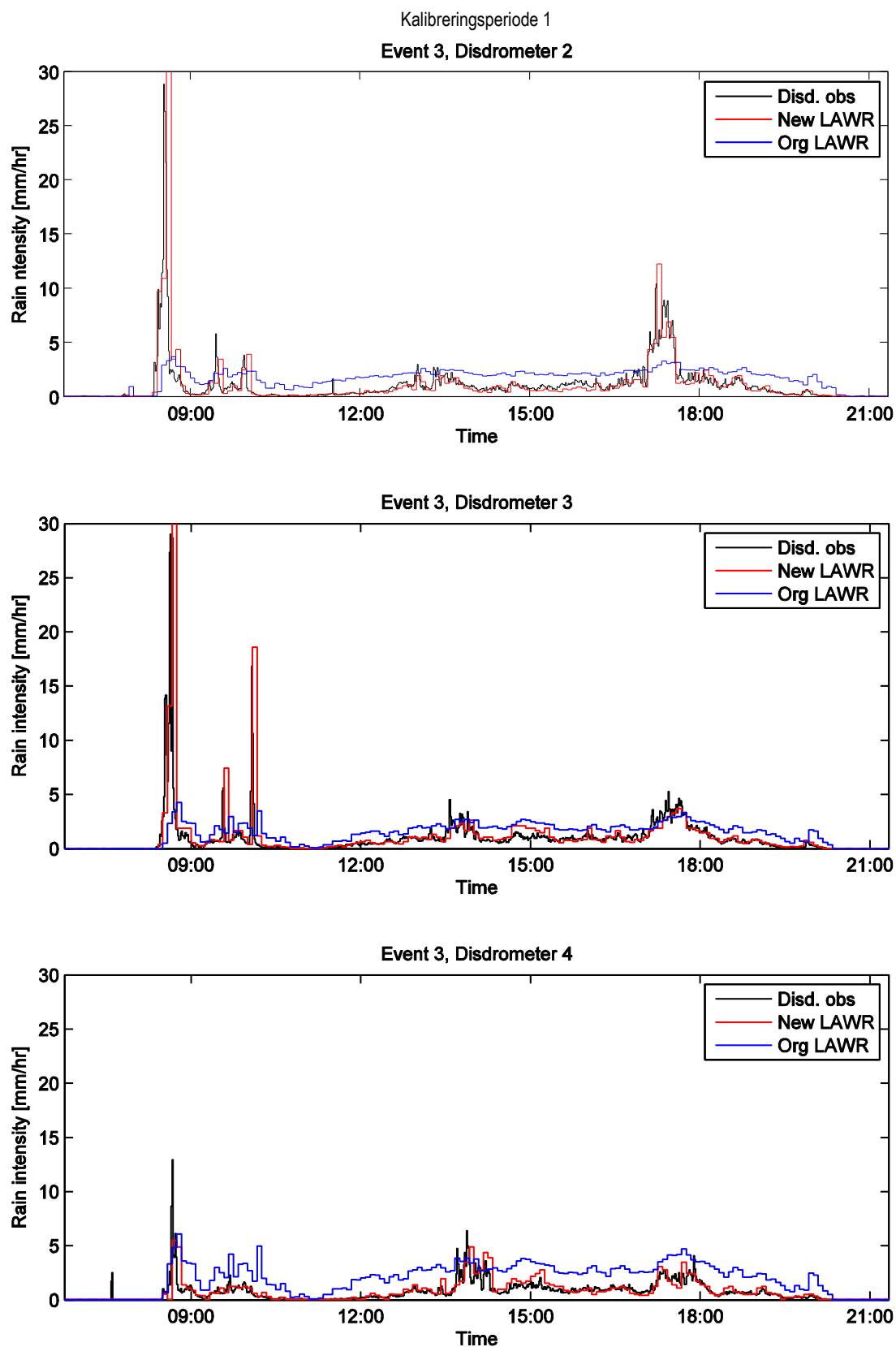
Figur 16, hændelse 3, første periode 3: På grund af det store spænd i regnintensitet, er det svært at se alle detaljerne i denne regnhændelse. De er dog klart, at den originale processeringsmetode også for denne hændelse præsterer utilfredsstillende – næsten samtlige peaks underestimeres mens resten af hændelsen overestimeres. Mere præcist præsterer den nye processeringsmetode og variationerne estimeres godt. Dog er der kraftig overestimering af hændelsens kraftige start. For den nye processeringsmetode kan det ydermere fremhæves, at forskellen i intensitetsniveau som er observeres med disdrometerene omkring kl. 17.30 også afspejles af radar-estimatet.



Figur 14: Intensitetsforløb under hændelse 1 i kalibreringsperiode 1. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.



Figur 15: Intensitetsforløb under hændelse 2 i kalibreringsperiode 1. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.



Figur 16: Intensitetsforløb under hændelse 3 i kalibreringsperiode 1. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.

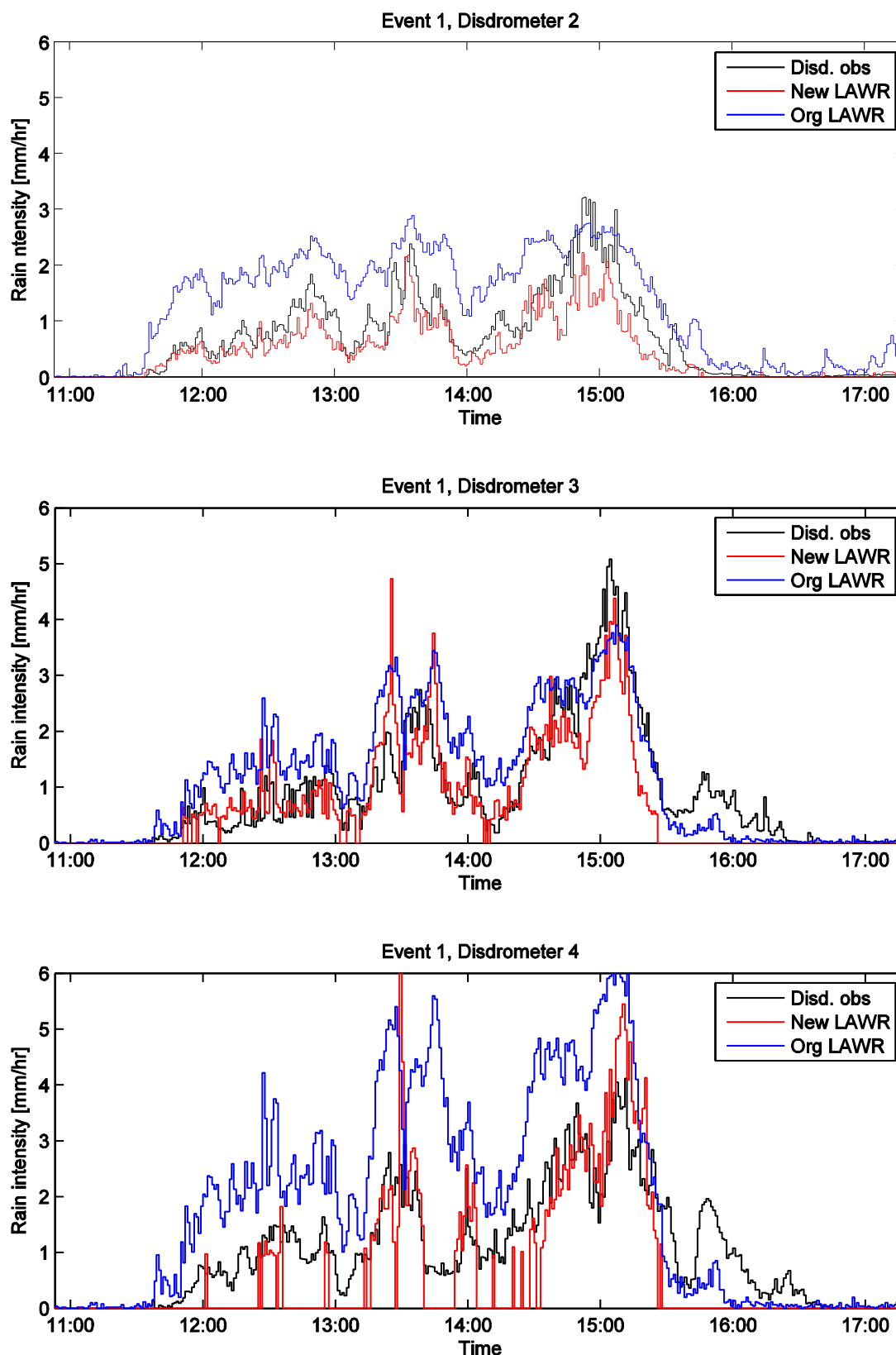
Under den anden kalibreringsperiode er den tidslige opløsning 1 min, hvorfor radaren her har mulighed for at 'se' de tidslige variationer mere detaljeret. Generelt er indtrykket at den nye processeringsmetode drager fordel af den forøgede tidslige opløsning. Omvendt, præsterer den originale metode umiddelbart lige så upræcise estimater, som ved 5 minutters opløsning.

Figur 17, hændelse 1, anden periode: Generelt overestimerer den originale processeringsmetode denne regnhændelse. Der er ikke en entydig afstandsafhængighed, da overestimeringen er mindst for disdrometer 2. Den nye processeringsmetode, præsterer betydeligt bedre, specielt udfor disdrometer 1 og disdrometer 2. Regnintensiteterne i denne hændelse er forholdsvis lave, og det tyder på, at der er form for tærskelværdi for radarens detektionsevne, som stiger med afstanden fra radaren. Udfor disdrometer 2 detekteres hele hændelsen, mens der for disdrometer 3 er korte perioder hvor regnen ikke detekteres. For disdrometer 4 er der forholdsvis lange perioder, hvor regnen ikke detekteres.

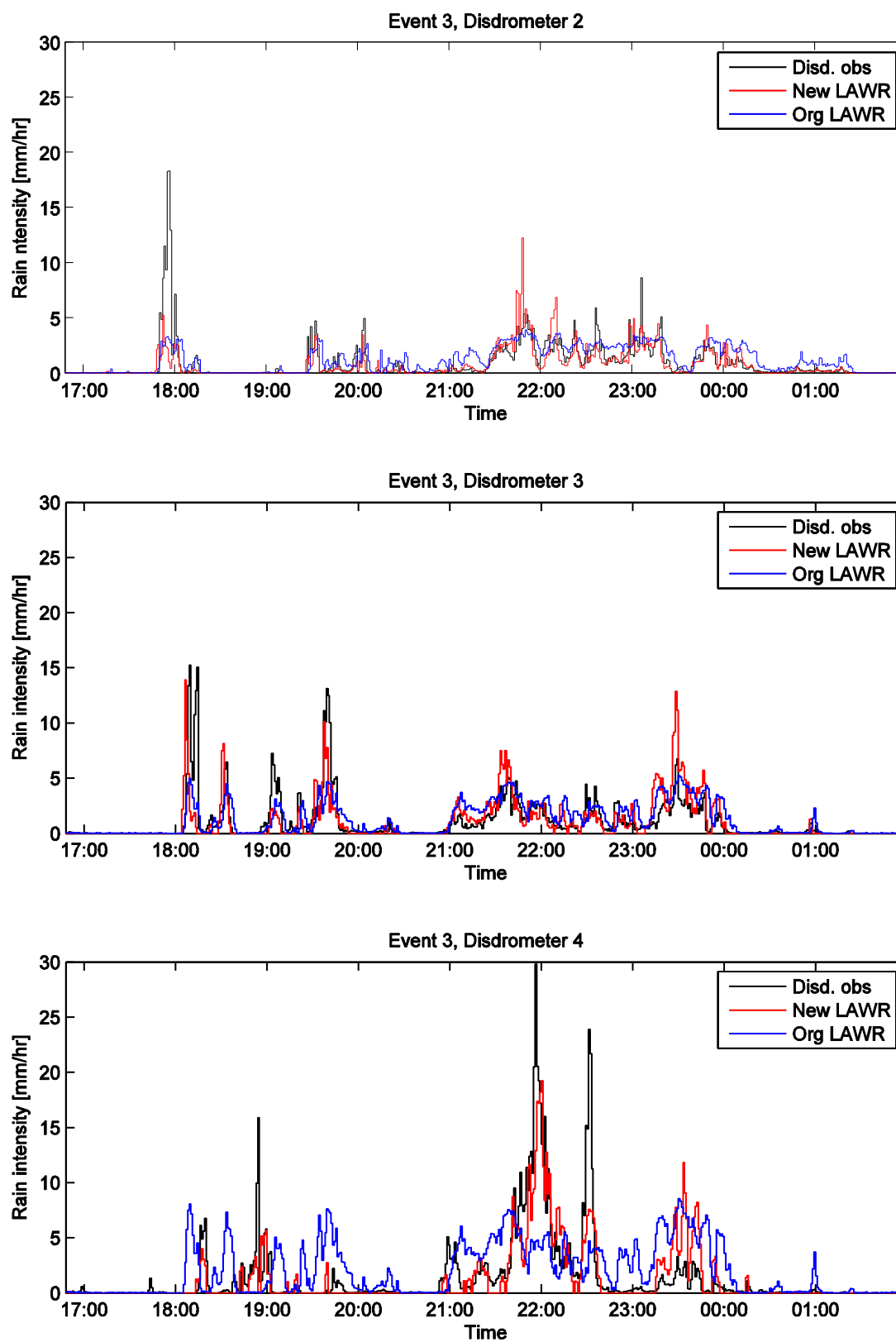
Umiddelbart tyder det mest på, at der er en tærskelværdi, som er sat for højt i den nye processeringsmetode. Det tyder ikke på fysisk begrænsning, da der er signal, som det kan ses af den originale processeringsmetode. For de øvrige viste regnhændelser optræder det samme fænomen, men da disse hændelser er kraftigere, optræder det ikke så kraftigt.

Figur 18, hændelse 3, anden periode: Den originale processeringsmetode præsterer forholdsvis tilfredsstillende for disdrometer 2 og 3, mens observationerne i disdrometer 4 konstant bliver enten overestimeret eller underestimeret. Selvom niveauet i disdrometer 2 og 3 passer nogenlunde, ses det, at den nye metode rammer variationerne bedre. Specielt i hændelsens første del, og generelt for disdrometer 4.

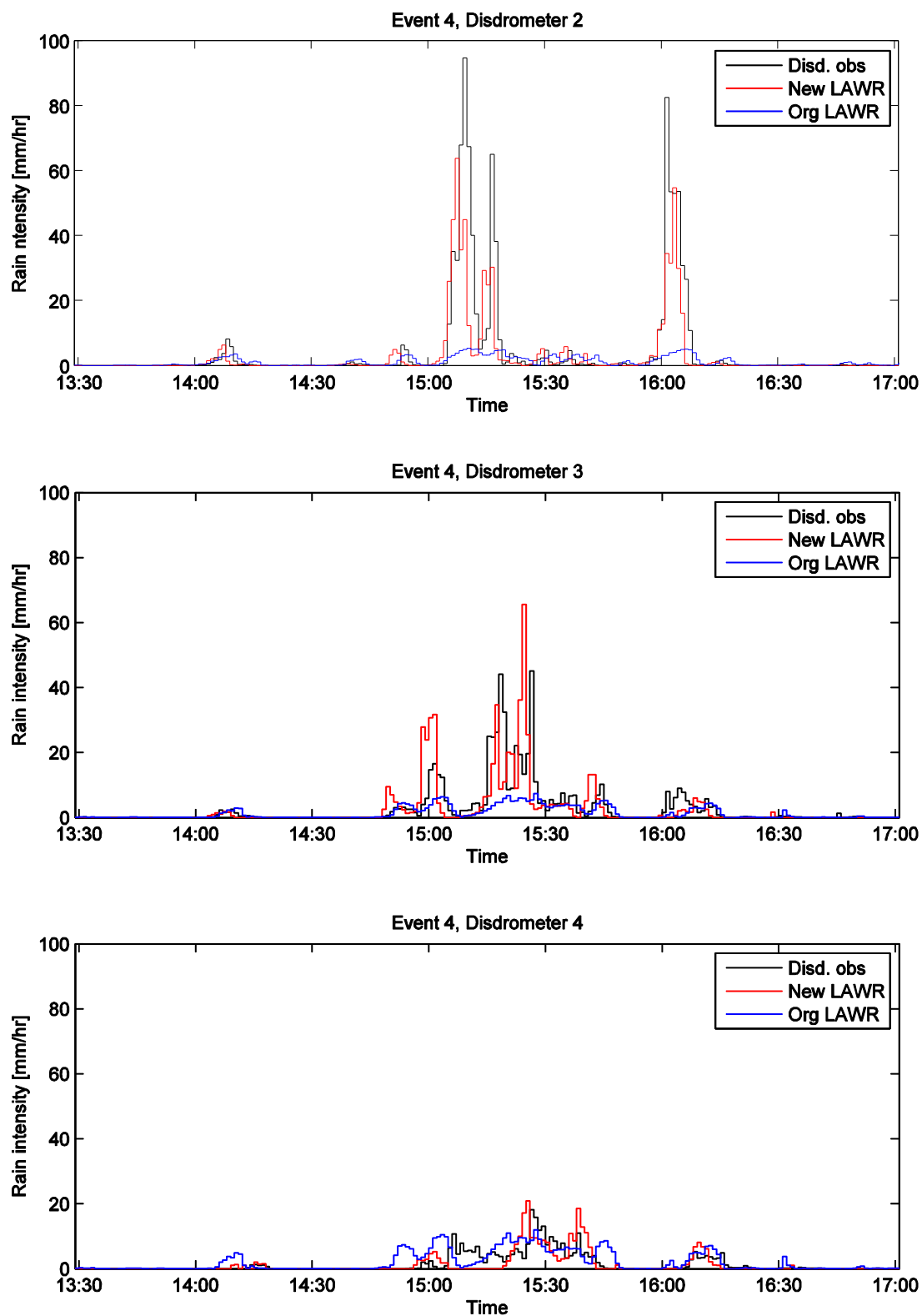
Figur 19 og figur 20, hændelse 4 og 5, anden periode: Disse to hændelser skiller sig ud fra de øvrige, ved at indeholde store observerede variationer disdrometerene imellem. Det er tydeligt at den nye processeringsmetode overgår den originale. Mens den originale, estimerer de to regnhændelser med ca. samme intensitetsniveau i de tre disdrometre, så observerer den nye metode den reelle dynamik betydeligt bedre.



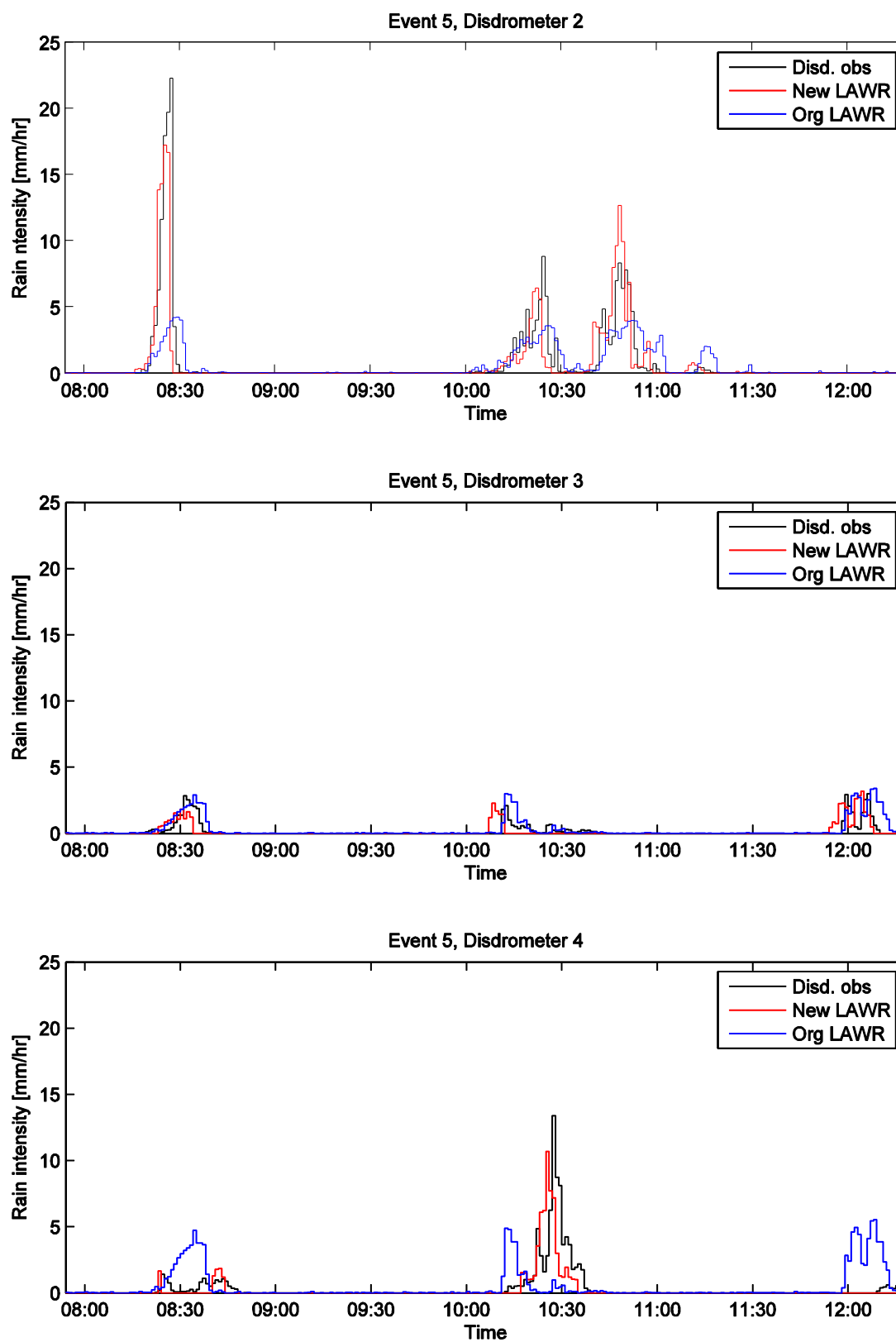
Figur 17: Intensitetsforløb under hændelse 1 i kalibreringsperiode 2. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.



Figur 18: Intensitetsforløb under hændelse 3 i kalibreringsperiode 2. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.



Figur 19: Intensitetsforløb under hændelse 4 i kalibreringsperiode 2. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.



Figur 20: Intensitetsforløb under hændelse 5 i kalibreringsperiode 2. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye processeringsmetode. Blå kurve: Den original processeringsmetode.

SAMMENLIGNING MED DMI'S C-BÅNDSRADAR

Den nye LAWR processeringsmetode er i det nedenstående sammenlignet med nedbørsestimater fra DMI's C-båndsradar.

Disdrometer 2 er placeret i en afstand af kun 3,45 km fra radaren. I princippet er dette for tæt på radaren, da målingerne i radarens nærområde kan divergere fra den resterende del af målingen. I radarens nærfelt formes radar pulsen med main lobe og side lobes, og der er i princippet først herefter reflektivitetsmålingen er fuldt pålidelig.

I dette tilfælde vil det betyde, at den nærmeste disdrometer ikke kan anvendes i analysen. Det er dog valgt at lave en empirisk opretning af radarens nærområde vha.

$$(7) \quad Z_{kor} = Z \cdot (1 + N_1 \cdot \exp(r \cdot N_2))$$

Denne aftagende exponential funktion er valgt for at få en glidende overgang mellem korrektionen i nærområdet og afstande længere radaren.

Typisk er det nødvendigt at bias-korrigerer nedbørsestimaterne fra C-båndsradaren ved hjælp af jordobservationerne hvorfor en biaskorrektionsfaktor ydermere er tilføjet.

$$(8) \quad R = \left(\frac{Z_{kor}}{A} \right)^{(1/b)} \cdot F_{Bias}$$

Biaskorrektion kan også være relevant for LAWR-radaren, men da denne radar kalibreres direkte mod disdrometerobservationerne er dataene implicit biaskorrigeret gennem kalibreringen.

F_{Bias} , N_1 og N_2 er bestemt for hver af de to kalibreringsperioder. Dette er foretaget vha. en simpel optimeringsrutine, som minimerer summen af den kvadrerede fejl (SSE sum of squared error) mellem radarestimaterne og disdrometerobservationerne. Optimeringsrutinen er i princippet identisk med rutinen der anvendes i forbindelse med den nye processeringsmetode og estimerne som er optimeret på er således hændelsernes regndybde for alle hændelser simultant. De estimerede værdier for F_{Bias} , N_1 og N_2 er listet i tabel 11.

Parameter	Kalibreringsperiode 1	Kalibreringsperiode 2
F_{Bias}	1,14 [-]	1,27 [-]
N_1	1,12 [-]	1,95 [-]
N_2	-0,66 km ⁻¹	-0,89 km ⁻¹

Tabel 11: Parameterestimer for DMI's c-båndsradar for de to kalibreringsperioder.

Som det kan ses varierer parametrene lidt perioderne imellem. Selvom variationen i N_1 og N_2 kan virke store, er den reelle indvirkning på regnestimatet minimalt. I og med N_1 og N_2 kun korrigerer tæt ved radaren, har disse to parametre kun effekt på radarestimatet for disdrometer 2. F_{Bias} er derimod mere betydende. Umiddelbart er

variationen som der ses her i overkanten af det forventelige, men kan skyldes at der er tale om to forholdsvis korte kalibreringsperioder.

Hændelsesdybder

I Tabel 12 og tabel 13 indeholder regndybder estimeret med såvel radarer som disdrometre for de to kalibreringsperioder, hvor figur 13 illustrerer resultat som scatter-plots.

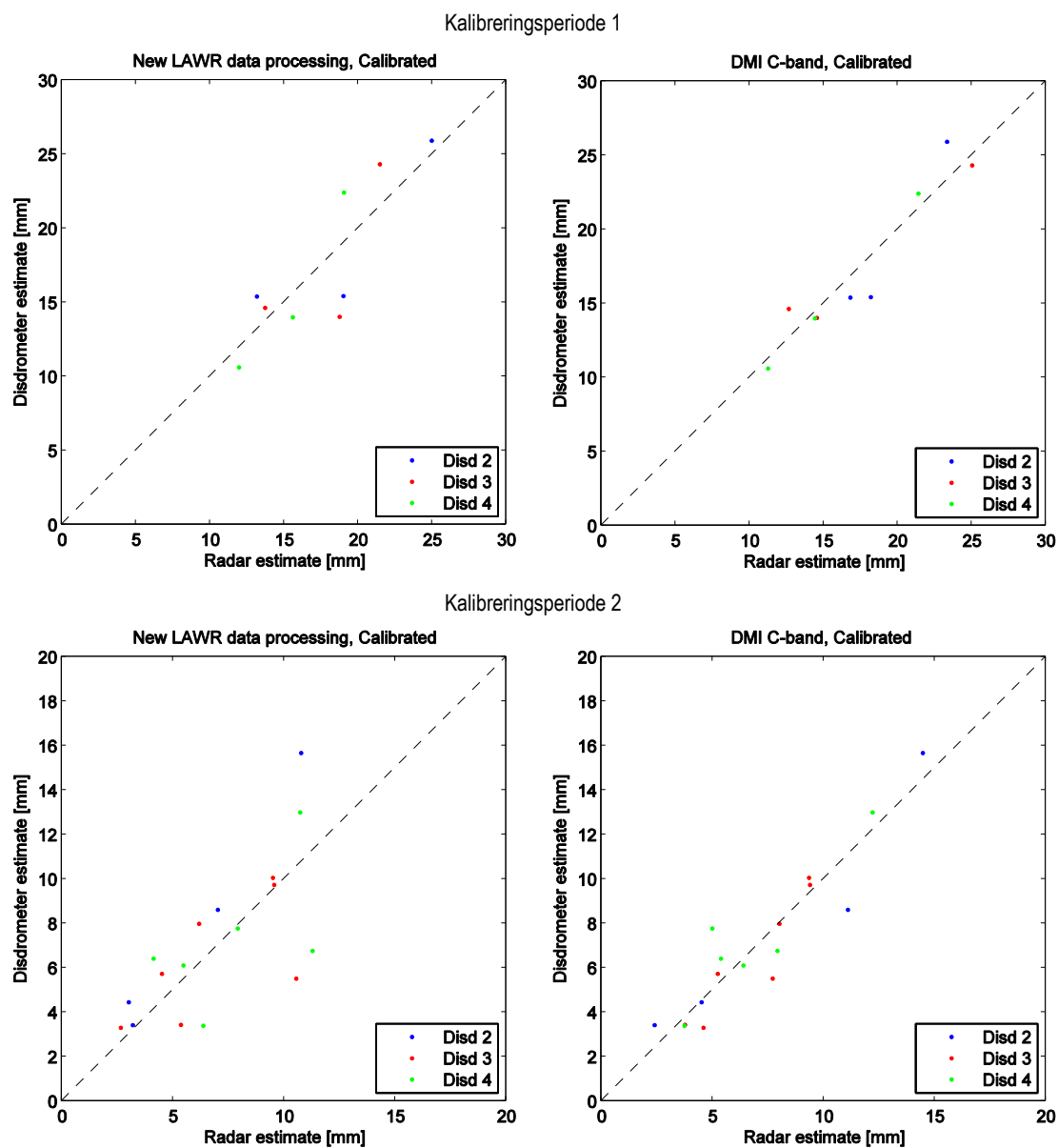
Hændelses nr.	Disd. 2 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)	Disd. 3 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)	Disd. 4 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)
1	25,9	25,0	23,3	24,3	21,5	25,0	22,5	19,0	21,4
2	15,4	13,1	16,8	14,6	13,7	12,6	14,0	15,6	14,4
3	15,4	19,0	18,2	14,0	18,7	14,5	10,6	11,9	11,2
SSE (mm ²)		19,1	16,6		30,7	4,7		16,5	1,7

Tabel 12: Radar estimeret disdrometer observeret regndybder for kalibreringsperiode 1

Hændelses nr.	Disd. 2 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)	Disd. 3 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)	Disd. 4 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)
1	4,5	3,0	4,5	5,7	4,5	5,2	6,4	4,11	5,4
2	-	-	-	3,4	5,3	3,7	-	-	-
3	8,6	7,0	11,1	9,7	9,5	9,4	13,0	10,7	12,2
4	15,7	10,8	14,5	10,1	9,5	9,3	6,8	11,3	7,9
5	3,4	3,2	2,4	8,0	6,2	8,0	7,8	7,9	5,0
6	Udfald	-	-	5,5	10,5	7,7	3,4	6,4	3,7
7	Udfald	-	-	3,3	2,6	4,6	6,1	5,5	6,4
SSE (mm ²)		28,9	9,0		34,2	7,6		40,2	10,9

Tabel 13: Radar estimeret disdrometer observeret regndybder for kalibreringsperiode 2

Sammenlignes radarnes estimater af hændelsernes regndybder, må det konstateres, at C-båndsradaren tilsyneladende leverer de mest præcise nedbørs estimater. Men samtidig må det også konstateres, at LAWR-radaren præsterer på et niveau som er forholdsvis tæt på C-båndsradaren.



Figur 21: Scatter-plots over hændelsesregndybder i kalibreringsperioderne. Øverst: Kalibreringsperiode 1. Nederst: Kalibreringsperiode 2. Venstre: Nye LAWR processeringsmetode. Højre: DMI's c-båndsradar.

Intensitetsforløb

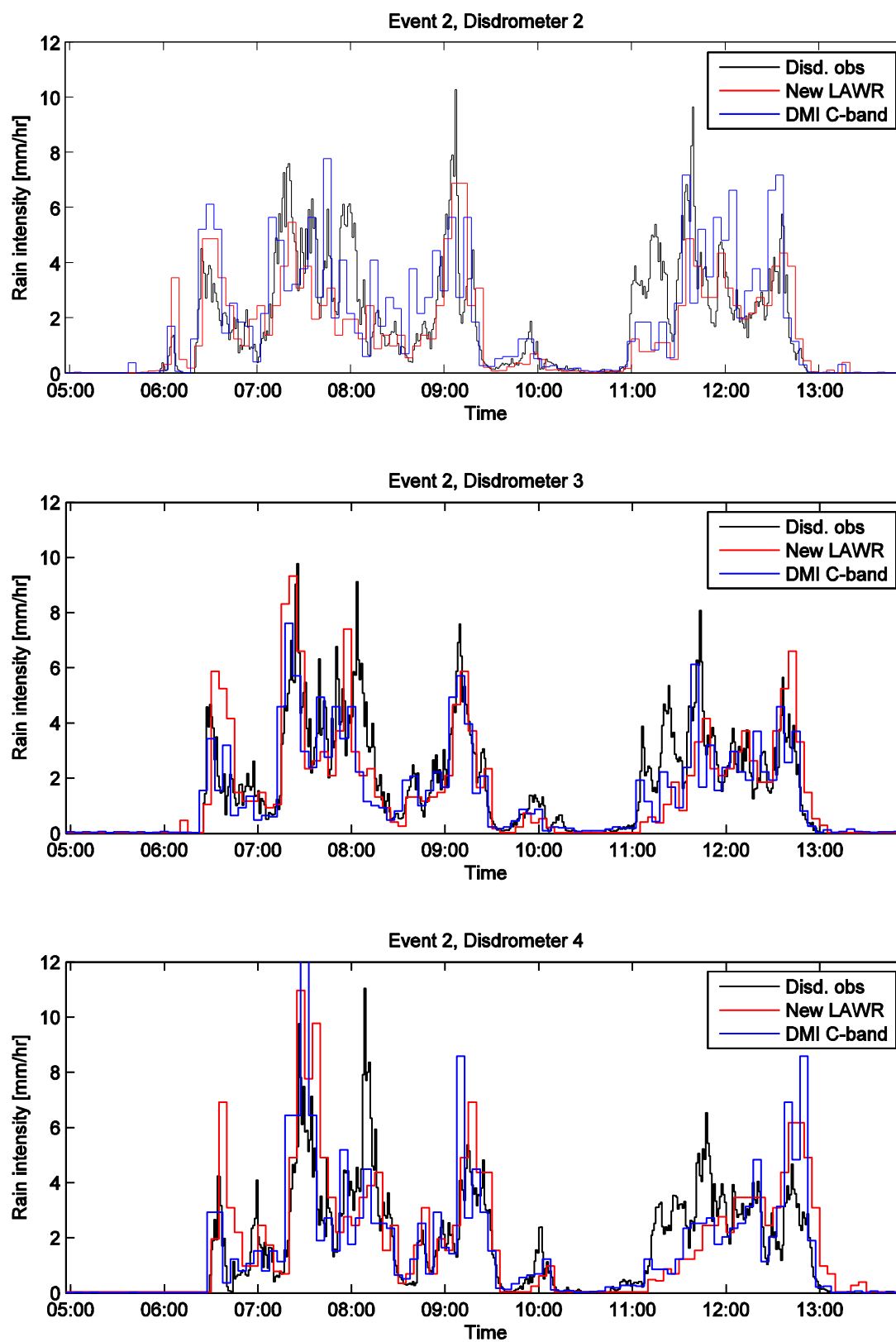
Det er valgt kun at vise én regnhændelse fra hver kalibreringsperiode: Hændelse 2 fra den første periode og hændelse 3 fra den anden kalibreringsperiode er således udvalgt.

Den primære forskel mellem de to regnhændelser består i den forøgede tidlige opløsning for LAWR-radaren.

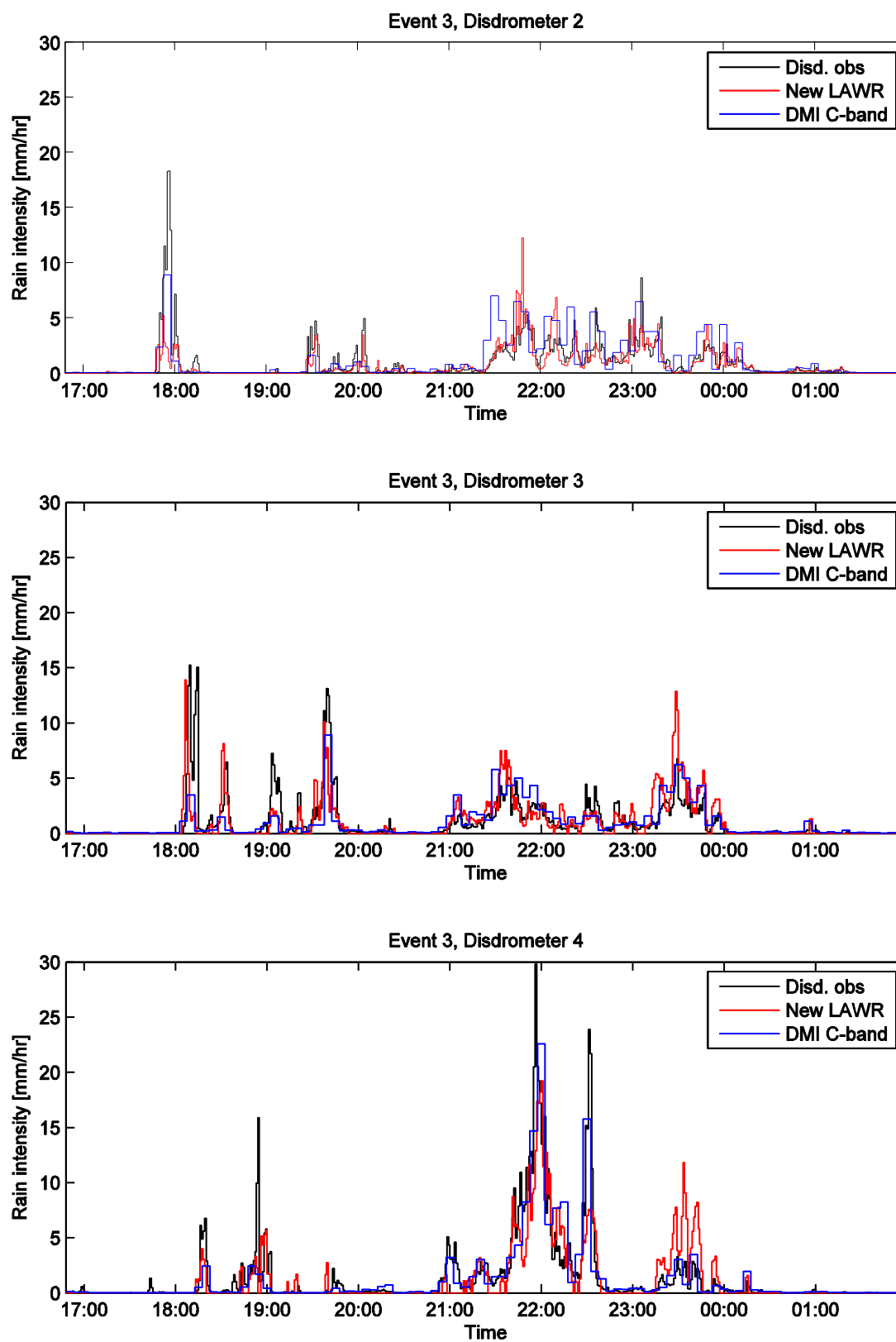
For hændelsen vist i figur 22, må det konstateres at præstationen næsten er identisk for de to radartyper. Begge radarer underestimerer starten af den sidste del af regnhændelsen i perioden 11 til 11.30.

Hændelsen vist i figur 23 viser den forøgede LAWR opløsning tydeligt. Selvom 1 min LAWR målingen sikkert indeholder mere støj, virker det til at LAWR-radaren fanger nogle af variationerne mindre end 5 min. Dog må det også konstateres, at begge radar præsterer tilfredsstillende, og at der kan findes perioder for begge radar, hvor de er mere præcise end modparten.

Generelt er indtrykket af sammenligningen med C-båndsradaren, at denne præsterer mere konsekvent, hvilket giver sig til udtryk i de mere præcist estimerede regndybder. Sammenlignes regnens intensitetsforløb, er det dog svært at finde betydeligt forskelle blandt kalibreringsregnhændelserne. Det tyder dog på at LAWR-radaren har en lille fordel ved at operere på 1 minuts basis. I denne sammenhæng bør det retfærdigvis nævnes, at det er muligt at forøge den tidlige opløsning af C-båndsradaren ved hjælp af interpolation. Dette aspekt er dog ikke undersøgt nærmere i denne sammenhæng



Figur 22: Intensitetsforløb under hændelse 2 i kalibreringsperiode 1. Sort kurve: Disdrometer observation. Rødkurve: Den nye LAWR processeringsmetode. Blå kurve: DMI's C-båndsradar.



Figur 23: Intensitetsforløb under hændelse 3 i kalibreringsperiode 2. Sort kurve: Disdrometer observation. Rødkurve: Den nye LAWR processeringsmetode. Blå kurve: DMI's C-båndsradar.

VALIDERING

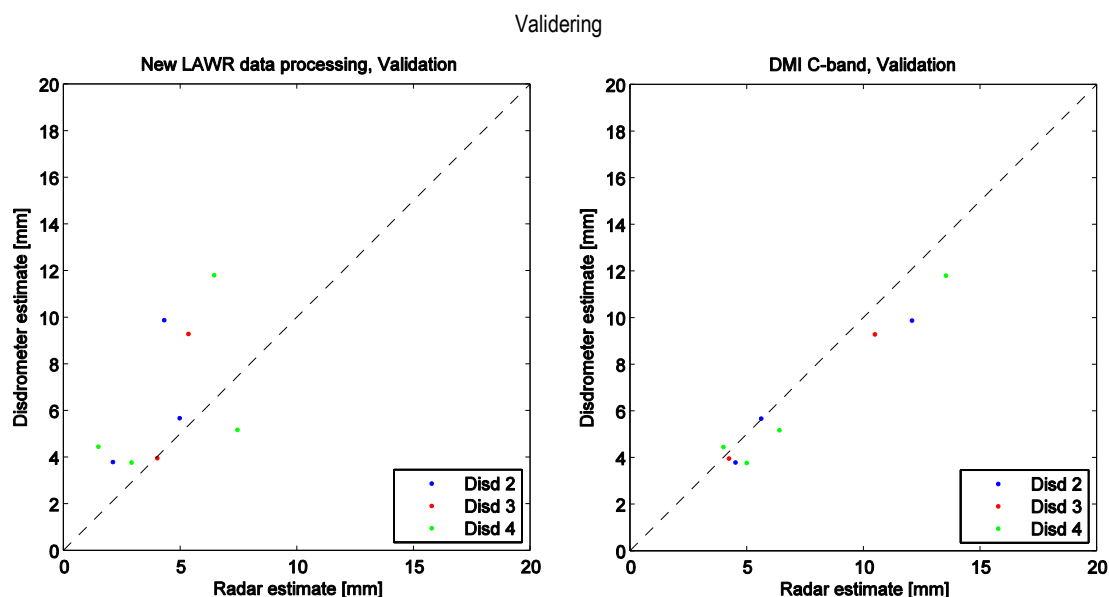
I forlængelse af den sidste kalibreringsperiode er valideringen foretaget. Kalibreringsresultatet for periode 2 er valideret ved at fastholde parametrene for såvel LAWR som for DMI's C-båndsradar. Der er kun foretaget validering på den nye LAWR processeringsmetode og DMI's c-båndsradar, da der har været nedbrud af den originale processeringsmetode i valideringsperioden. Det vurderes dog heller ikke særlig relevant at foretage validering på den originale LAWR processering, da kalibreringsresultatet kraftigt antyder at valideringen ikke vil være relevant.

Hændelsesdybder

Sammenlignes radarens evne til at estimere regnhændelsernes dybder (tabel 14 og figur 24), viser resultatet entydigt, at C-båndsradaren præsterer estimerer tættest på observationerne. C-båndsradarens SSE udgør kun ca. en 1/10 af LAWR-radarens SSE estimeret med den nye processeringsmetode. Generelt har LAWR-radaren tendens til at underestimere nedbøren i valideringsperioden.

Hændelses nr.	Disd. 2 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)	Disd. 3 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)	Disd. 4 (mm)	Ny (mm)	DMI (mm)
1	3,8	2,01	4,5	-	-	-	3,8	2,9	5,0
2	5,7	4,9	5,6	4,0	4,0	4,2	5,2	7,4	6,4
3	-	-	-	-	-	-	4,5	1,45	4,0
4	9,9	4,3	12,0	9,31	5,31	10,5	11,81	6,4	13,5
SSE (mm ²)		35,2	5,9		16	1,45		29,3	2,9

Tabel 14: Radar estimeret og disdrometer observeret regndybder for valideringsperioden.



Figur 24: Scatter-plots over hændelsesregndybder i kalibreringsperioderne. Øverst: Kalibreringsperiode 1. Nederst: Kalibreringsperiode 2. Venstre: Nye LAWR processeringsmetode. Højre: DMI's c-båndsradar.

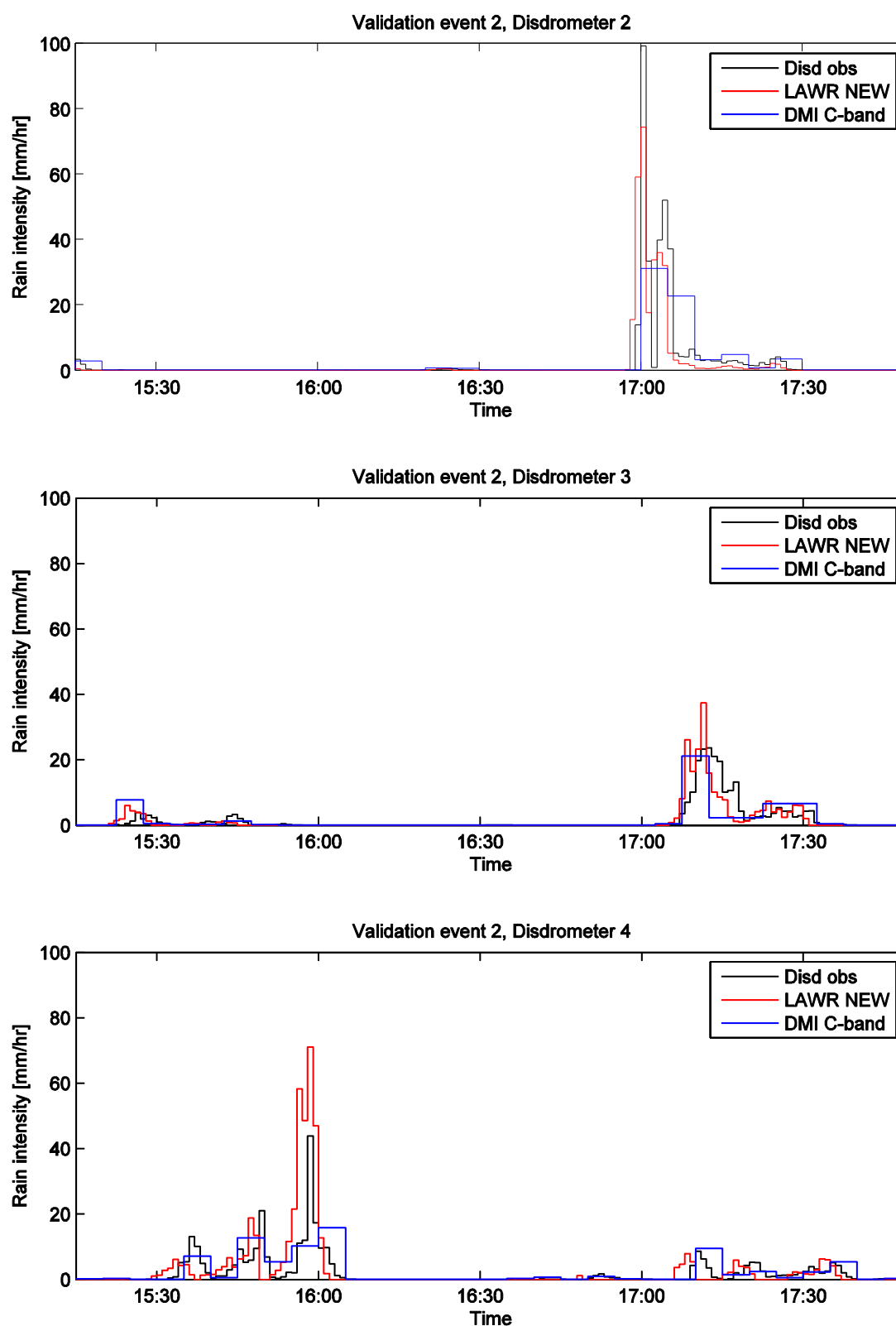
Intensitetsforløb

Intensitetsforløbene plottet og vist på figur 25 og figur 26 illustrerer valideringshændelserne 2 og 4.

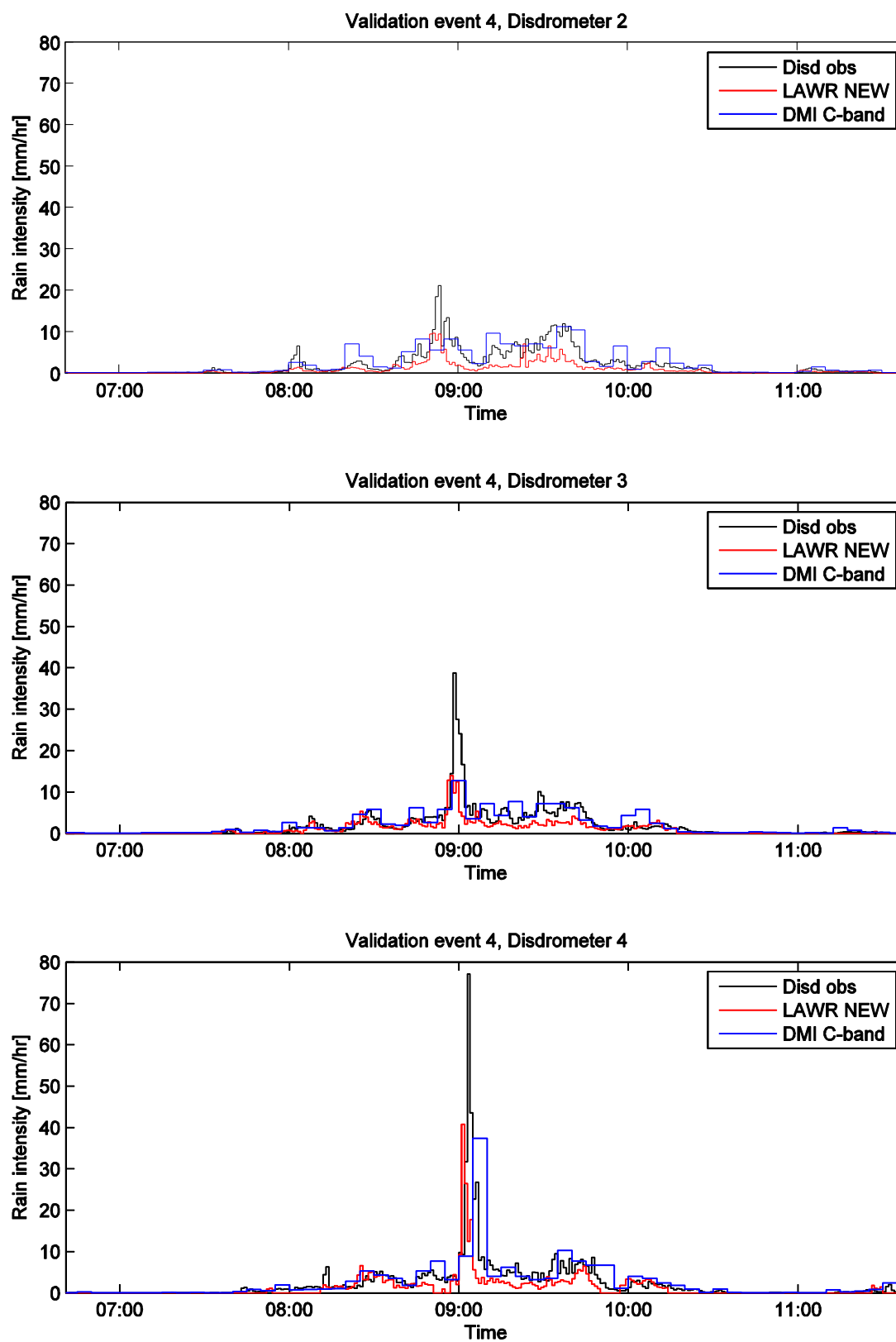
Hændelsen i figur 25 estimeres forholdsvis ens af de to radarer. Begge radarer er enige om, at det kun har regnet kraftigt mellem 15.30 og 16.00 over disdrometer 4, samt at det omkring kl. 17.00 regnede kraftigst over disdrometer 1. Hvor vidt de tidslige detaljer repræsenteres bedre af den højere LAWR opløsning, er svært at svare entydigt på. Det kan derimod konstateres at det generelle intensitetsniveau ligger realistisk for begge radarer.

Hændelsen i figur 26 tegner et knapt så entydigt billede. Her ligger C-båndsradarens niveau stadig realistisk, mens LAWR-radaren underestimerer. Til trods for det lavere niveau, virker variationerne dog realistiske for LAWR. C-båndsradaren har på grund af den grovere tidslige opløsning problemer med at registrere peak midt i hændelsen. LAWR-radaren har også problemer med at estimerer disse intensiteter, til trods for den finere tidslige opløsning.

Valideringen indikerer således, at kalibreringen af nye LAWR processeringsmetode, kan variere i tid med forringet præstationsevne som resultat. I modsætning hertil står C-båndsradaren, som er mere stabil og præsterer sammenligneligt i såvel kalibrering som validering. LAWR-radarens dårligere valideringsresultat kan skyldes den forholdsvis korte kalibreringsperiode. Ved at anvende længere kalibreringsperioder, vil den nye LAWR processeringsmetode sandsynligvis præstere en anelse dårligere i kalibreringen, men derimod få en mere bedre og mere stabil kalibrering. Med det tilgængelige datagrundlag, har det dog ikke været muligt at teste denne hypotese.



Figur 25: Intensitetsforløb under valideringshændelse 2. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye LAWR processeringsmetode. Blå kurve: DMI's C-båndsradar.



Figur 26: Intensitetsforløb under valideringshændelse hændelse 4. Sort kurve: Disdrometerobservation. Rødkurve: Den nye LAW R processeringsmetode. Blå kurve: DMI's C-båndsradar.

KONKLUSION

Den gennemførte sammenlignings analyse peger på følgende klare observationer.

- Det kan konkluderes at den 'nye' processeringsmetode for LAWR-radaren præsterer betydelige mere nøjagtige nedbørs estimater end den originale processeringsmetode. Både intensitetsniveau og dynamik bliver langt bedre estimeret med den nye processeringsmetode.
- Outputtet fra den nye LAWR processeringsmetode kan ikke direkte omsættet til radarreflektivitet. Det var for begge kalibreringsperioder nødvendigt nødvendig at efterkalibrerer outputtet med både skala justering og afstandskorrektion, for at få præcise estimater fra den nye LAWR processeringsmetode.
- Under kalibreringsperioderne præsterer den nye LAWR processering nedbørsestimater, som tilnærmelsesvis er af samme kvalitet som estimater fra DMI's C-båndsradar. Umiddelbart, tyder det på, LAWR-radaren har fordel af den højere opløsning, mens C-båndsradaren præsterer mere stabile estimater.
- Under valideringen blev det fundet, at LAWR-radaren præsterede dårligere end under kalibreringen, mens C-båndsradaren præsterede forholdsvis entydigt. Dette kan måske antyde at den nye LAWR processerings ikke er så stabil som det kunne ønskes over længere perioder. Det kan dog ikke afvises, at LAWR-radarens ringere valideringsresultat kan være et resultat af den forholdsvis korte kalibreringsperiode. Anvendes længere perioder vil LAWR sandsynligvis præstere mere stabilt.
- Med forbehold for den lidt dårligere validering er der dog langt større potentiale i LAWR-radarens regnestimater fra den nye processering end den originale processeringsmetode.

Den originale processering er (ligesom den nye) ikke direkte reversibel. Dette betyder at LAWR-data processeret med den originale metode ikke umiddelbart kan reproprocesseres efter den nye metode.

Radar kalibreringerne foretaget i analysen er foretaget på baggrund af disdrometerobservationer. Der er dog ikke nogen umiddelbar hindring for at anvende traditionelle regnmålere i stedet da, kalibrering foretages på baggrund hændelsesregndybder.

Slutteligt, må konkluderes at der stadig mangler lidt udvikling på den nye processeringsmetode. LAWR-outputtet er endnu ikke fuldt entydige som reflektiviteter. Der er brug for en yderligere afstandskorrektion og reskalering, ligesom det er konstateres at den nye metode skærer nogle af de laveste intensiteter væk. Denne undersøgelse tyder på at det er muligt at videreudvikle LAWR-radaren,

så den bliver sammenlignelig med C-båndsradarene. Dette er stærkt opmuntrende for de LAWR installationer der er etableret i Danmark og udlandet.

REFERENCER

- Battan, L.J. 1959, "Radar meteorology", *University of Chicago Press*.
- Battan, L.J. 1973, "Radar observation of the atmosphere", *University of Chicago Press*.
- DHI, 2010, "Local Weather Radar Dokumentation"
- DHI, 2011, "Analyse af nedbør d. 12.-13. juli 2010 over Bredballe"
- DHI, 2011a, "Data-service-rapport for Vejle LAWR 2. kvartal 2011 (maj + juni)"
- Gill, R.S., Overgaard, S. & Bøvith, T. 2006, "The Danish weather radar network", *4th European conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Barcelona 18th–22nd September*.
- Marshall, J.S. & Palmer, W.M. 1948, "The Distribution of Raindrops with Size.", *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 5, pp. 165-166.
- Nielsen, J.E. & Rasmussen, M.R. 2012, "Radar Baseret Styringspotentiale for Vejle Spildevand". *Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg*. DCE Technical Reports, nr. 122, ISSN 1901-726X.
- OTT Messtechnik, 2009, "Operating instructions: Present Weather Sensor – Parsivel".
- Pedersen, L., Jensen N.E., Vejen, F., Petersen, C.W. 2009, "Assessment of hydrological model performance using C- and X- band weather radar data versus a few rain gauges in cases of extreme rainfall over urban areas". *8th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, St. Moritz, Switzerland*
- Pedersen, L., Jensen, N.E. & Madsen, H. 2010, "Calibration of Local Area Weather Radar—Identifying significant factors affecting the calibration", *Atmospheric Research*, vol. 97, no. 1-2, pp. 129-143.
- Probert-Jones, J. 1962, "The radar equation in meteorology", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 88, no. 378, pp. 485-495.
- Rollenbeck, R. & Bendix, J. 2006, "Experimental calibration of a cost-effective X-band weather radar for climate ecological studies in southern Ecuador", *Atmospheric Research*, vol. 79, no. 3-4, pp. 296-316.
- Thorndahl, S. & Rasmussen, M.R. 2012, "Marine X-band weather radar data calibration", *Atmospheric Research*, vol. 103, pp. 33-44.